Bernoulli Resolve

Física

6V

Volume 4

istockphoto.com

Sumário - Física

Módulo A

Módulo B

Módulo C

Módulo D

COMENTÁRIO E RESOLUÇÃO DE QUESTÕES

MÓDULO – A 07

Forças de atrito

Exercícios de Fixação

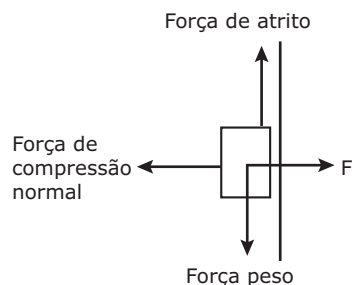
Questão 01 – Letra B

Comentário: Como o carro não derrapa, não há escorregamento entre as superfícies e o atrito é estático. Se o atrito não apontasse no sentido do movimento, este não ocorreria. Portanto, a alternativa correta é a letra B.

Questão 02 – Letra D

Comentário: A interação entre a folha de papel e a moeda se dá por meio da força de atrito. Caso o valor máximo da força de atrito seja menor que o produto da massa da moeda pela aceleração do sistema (moeda + papel), a moeda ficará sujeita à força de atrito cinético, nesse caso, haverá movimento relativo entre os objetos e a moeda deslizará sobre a folha e ficará sobre a mesa.

Questão 03 – Letra A

Comentário: O diagrama de forças para a situação descrita pelo enunciado está representado a seguir:

Para que o bloco permaneça em equilíbrio, é necessário que a força de atrito seja igual à força peso. A força F mínima para que o bloco não desça deve ter intensidade igual a:

$f_a = P \Rightarrow \mu_E N = mg \Rightarrow \mu_E F = mg \Rightarrow$

$F = mg/\mu_E = 3{,}0.10/0{,}20 = 150$ N

Questão 04 – Letra A

Comentário: Pelo gráfico da questão, podemos perceber que a intensidade máxima da força de atrito estático é igual a 15 N, e a intensidade da força de atrito cinético é igual a 10 N.

Como o corpo não possui movimento vertical, podemos afirmar que o módulo da normal (N) é igual ao módulo do peso do corpo (50 N), já que somente essas forças atuam na vertical. Assim, o coeficiente de atrito estático pode ser calculado por:

$$F_{AE_{Máx}} = \mu_E N \Rightarrow 15 = \mu_E.50 \Rightarrow \mu_E = 0{,}30$$

Quando o módulo da força F for igual a 30 N, o módulo da força resultante sobre o corpo será de 20 N, na mesma direção e sentido de F. De acordo com a 2ª Lei de Newton, temos:

$$F_R = ma \Rightarrow a = \frac{F_R}{m} \Rightarrow a = \frac{20}{5{,}0} = 4{,}0 \text{ m/s}^2$$

Logo, a alternativa correta é a A.

Questão 05 – Letra B

Comentário: A partir do momento em que a força resistiva do ar alcança o valor do peso, a velocidade se mantém constante, já que a resultante torna-se zero. Nessa situação:

$P = F \rightarrow 3{,}2 \times 10^{-7} = 8 \times 10^{-6}\, v^2 \rightarrow v = 0{,}2$ m/s

Exercícios Propostos

Questão 03 – Letra D

Comentário: Na direção vertical, N = P = Mg. Já na direção horizontal $F_R = F - N.\mu = F - Mg\mu$. Pela Segunda Lei de Newton, $F - \mu Mg = M.a \rightarrow a = (F - \mu Mg)/M$

Questão 05 – Letra B

Comentário: Utilizando as equações da Cinemática para o Movimento Uniformemente Acelerado, podemos determinar a aceleração da caixa:

$$v = v_0 + at \Rightarrow 0 = 10 + a.5 \Rightarrow a = -2{,}0 \text{ m/s}^2$$

Podemos, agora, utilizar a Segunda Lei de Newton para encontrar o valor da força resultante, que será o valor da força de atrito:

$F_R = F_{ATRITO} \Rightarrow ma = \mu N \Rightarrow ma = \mu P \Rightarrow ma = \mu mg \Rightarrow$

$a = \mu g \Rightarrow 2{,}0 = \mu.10 \Rightarrow \mu = 0{,}20$

Esse resultado é corretamente mostrado na letra B.

Questão 06 – Letra A

Comentário: Na direção vertical, N = P = Mg. Já na direção horizontal, $F_R = F_{at}$, e assim, $Ma = \mu Mg$ e $a = 5$ m/s². Pela equação de Torricelli, o carro parará a 62,5 m do seu ponto inicial de frenagem, atropelando o cavalo.

Questão 07 – Letra E

Comentário: Para que a aposta seja ganha, o vaso tem que andar a distância (D – d) em um tempo t_1 maior que o tempo t_2 gasto pelo forro para andar a distância D. Logo, pela equação horário do MRUV, sabendo que a aceleração do forro é a e a aceleração do vaso é $g\mu$, teremos:

$$D = \frac{at_2^2}{2} \text{ e } D - d = \frac{at_1^2}{2} \quad \frac{2D}{a} < \frac{2(D-d)}{g} \quad \frac{D}{D-d}\mu g$$

Questão 11 – Letra A

Comentário: O gráfico da questão informa que o módulo da força de atrito cinético é igual a 0,8 N. Logo:

$F_{AC} = \mu_C N \Rightarrow 0{,}8 = \mu_C.1{,}0 \Rightarrow \mu_C = 0{,}8$, pois

$N = P = mg = 0{,}100.10 = 1{,}0$

Assim, a resposta correta é a A.

Questão 12 – Letra C

Comentário: Como $M_A = 2M_B$, $P_A = 2P_B$. A velocidade se tornará constante quando a força resultante for zero, ou seja, quando F = P. Disso, temos:

$F_B = P_B \quad Kv_B^2 = PB \quad (I)$

$F_A = P_A \quad K_A^2 = 2PB \quad (II)$

Dividindo II por I encontramos $v_A/v_B = \sqrt{2}$

Questão 14 – Letra A

Comentário: Como entre t = 40 s e t = 70 s a velocidade é constante, temos que a força resultante sobre o paraquedista neste intervalo de tempo é nula.

Questão 15 – Letra D

Comentário: A melhor opção é a alternativa D, pois, na roda motriz (na qual temos a tração da roda), o pneu gira e empurra o solo para trás, que, por sua vez, empurra o pneu para frente.

Questão 17 – Letra D

Comentário: No ponto mais alto da trajetória, a velocidade e, por consequência, a força de resistência do ar são nulas. A aceleração é a da gravidade e ela não se anula no ponto mais alto. Logo, a alternativa D é a correta.

Seção Enem

Questão 01 – Letra A

Eixo cognitivo: I

Competência de área: 6

Habilidade: 20

Comentário: Para um veículo desprovido de freios ABS, supondo que houve deslizamento dos pneus em relação à pista, a frenagem pode ser dividida em dois instantes: no primeiro, o pneu ainda roda sem deslizar, estando, portanto, sujeito à ação de uma força de atrito estático crescente; no segundo, assim que o valor da força de atrito estático atinge seu valor limite (que depende do coeficiente de atrito estático entre os pneus e a pista), os pneus do carro passam a deslizar (sem girar) sob ação de uma força de atrito cinético. Lembre-se de que a intensidade da força de atrito cinético é sempre menor que a intensidade da força de atrito estático máxima. Os únicos gráficos que estão de acordo com essa discussão são os das alternativas A e E.

Vamos, agora, analisar a situação em que um veículo com sistema ABS freia. Em uma pequena fração de tempo antes de as rodas travarem, o sistema libera o freio, ou seja, a força de atrito estático não atinge seu valor máximo. Logo em seguida, os freios são acionados novamente, repetindo esse processo, ou seja, as rodas são soltas antes de o atrito atingir o valor máximo. Repare que há um crescimento na intensidade da força de atrito até aproximadamente o valor máximo. Esse comportamento não é o retratado pela alternativa E, e sim pela A, que está correta.

Questão 02 – Letra C

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 2

Habilidade: 6

Comentário: Gabriel e Tomás estão errados. As observações feitas por eles referem-se ao aumento da área de contato dos pneus com o solo. No entanto, sabemos que o módulo da força de atrito não depende da área de contato.

Questão 03 – Letra D

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 6

Habilidade: 20

Comentário: A intensidade da força de resistência que atua na bola depende do valor da densidade do ar; logo, quando todas as outras condições estão constantes, a intensidade da força de resistência é diretamente proporcional à densidade do ar.

Questão 04 – Letra C

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 6

Habilidade: 20

Comentário: Para que as rodas não travem durante a frenagem do carro (como afirma o texto 1) é necessário que atue entre a roda e o solo uma força de atrito estático máxima, uma vez que cada ponto do pneu toca o solo, estando tais pontos momentaneamente em repouso. Por isso, é necessário que o módulo da força de atrito estático seja o maior possível, pois, caso o pneu trave (apresentando um movimento relativo com o solo), o valor da força de atrito passa a ser cinético e, portanto, de menor intensidade.

MÓDULO – A 08

Aplicações das Leis de Newton

Exercícios de Fixação

Questão 01 – Letra A

Comentário: Quando puxamos o bloco de baixo, surge uma tendência de escorregamento entre este e o bloco A, em que o bloco tende a escorregar para trás em relação a B. Logo, a força de atrito age em A para frente, pois esta se opõe à tendência de escorregamento.

Questão 02 – Letra B

Comentário: Pela figura 2, sabemos que o peso do carrinho na direção do plano inclinado vale 60 N. Essa componente do peso tem valor P_x = P.sen 30°, de onde descobrimos que o peso do carrinho vale 120 N. Procedendo de modo análogo na primeira situação, o peso do conjunto na direção do plano inclinado vale 80 N, de onde descobrimos que o peso do conjunto é 160 N. Logo, o peso do bloco é de 40 N e sua massa de 4 kg.

Questão 03 – Letra C

Comentário: Como a balança está indicando um valor menor que 70 kg, conclui-se que a normal é menor que o peso e o elevador está acelerado para baixo. Logo, a resultante das forças que atuam sobre ele também está para baixo. Portanto, o elevador pode estar subindo, reduzindo a sua velocidade, ou descendo, aumentando a sua velocidade. Dessa forma, a alternativa correta é a C.

Questão 04 – Letra D

Comentário: O atleta sobe em movimento acelerado, logo, a resultante das forças que atuam sobre ele é dirigida para cima. Sobre ele atuam as forças peso (para baixo) e a tensão da corda (para cima). Aplicando a 2ª Lei de Newton, temos que:

$$F_R = ma \Rightarrow T - P = ma \Rightarrow T - mg = ma \Rightarrow T = m(a + g)$$

Portanto, a alternativa correta é a D.

Exercícios Propostos

Questão 01 – Letra B

Comentário: Considerando o conjunto formado pelos dois blocos e a corda como sistema, as forças externas a este são os pesos dos blocos e a normal exercida pelo plano. Essa normal se cancela com a componente y do peso do bloco 1, logo, a resultante sobre o sistema estará sobre o outro eixo e valerá o módulo da diferença do peso do bloco 2 com o peso na direção do plano do bloco 1. Assim:

$F = 10.10 - 8.10.0,8 = 36$ N

Como $F = ma$, e a $m = 18$ kg, $a = 2$ m/s².

Questão 02 – Letra B

Comentário: Considerando como o nosso sistema o conjunto formado pelos três blocos e as cordas, as forças externas sobre este são apenas os pesos dos blocos. É trivial perceber que o sistema está acelerado para baixo do lado direito, então, pela Segunda Lei de Newton:

$$F = ma \Rightarrow 50 + 10m - 20 = (7 + m)^5 \Rightarrow m = 1 \text{ kg}$$

Questão 04 – Letra A

Comentário: Nessa situação, os dois blocos são colocados um sobre o outro, sobre o ponto P de um plano inclinado. Em seguida, os blocos são soltos e descem esse plano. De acordo com o enunciado da questão, as forças de atrito e de resistência do ar, nessa situação, são desprezíveis. Sendo assim, como os dois blocos estão sujeitos à mesma aceleração, pois estão apoiados sobre superfícies que apresentam a mesma inclinação em relação à horizontal, temos que esses blocos descem o plano inclinado juntos. Logo, o diagrama que melhor representa a situação, quando os blocos passam pelo ponto Q, é o da alternativa A.

Questão 05 – Letra A

Comentário: Essa questão trabalha com o conceito de peso aparente. No caso de o elevador subir com aceleração de 2,0 m/s², temos que a intensidade da normal será maior que a intensidade do peso.

O valor da normal é dado por:

$F_R = ma \Rightarrow N - P = ma \Rightarrow N = ma + mg \Rightarrow$

$N = m(a + g) = 60(2,0 + 10) \Rightarrow N = 720$ N

Tendo em vista que a balança "mede" a força normal N, o valor registrado pela balança, nessa situação, será 72 kg.

No caso de o elevador descer com aceleração de 2,0 m/s², temos que a intensidade da normal será menor que a intensidade do peso. A intensidade da normal será dada por:

$F_R = ma \Rightarrow P - N = ma \Rightarrow N = mg - ma \Rightarrow$

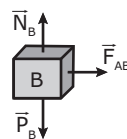
$N = m(g - a) = 60(10 - 2,0) \Rightarrow N = 480$ N

Tendo em vista o módulo da normal, nessa situação, temos que o valor registrado pela balança será 48 kg.

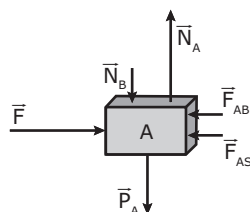
A situação C é a mais simples de se resolver, uma vez que, estando em queda livre, a pessoa não pressiona a balança. Logo, o valor registrado será 0 kg.

Dessa forma, os resultados são mostrados na alternativa A.

Questão 06 – Letra A

Comentário: Nessa situação, as forças que atuam sobre o bloco B são seu peso $\vec{P}_B$, a força normal $\vec{N}_B$ e a de atrito $\vec{F}_{AB}$, exercidas pelo bloco A.

As forças peso e normal se anulam; logo, a força resultante que atua sobre o bloco B é a força de atrito $\vec{F}_{AB}$. Tendo em vista a imposição de que o bloco B não deslize sobre o bloco A, temos que a máxima força horizontal que o bloco A pode exercer sobre o bloco B é a força de atrito estático máxima. Logo, a intensidade máxima da aceleração a que o sistema pode estar sujeito é dada por:

$$F_{AB} = m_Ba \Rightarrow m_Ba = \mu_BN_B \Rightarrow m_Ba = \mu_Bm_Bg \Rightarrow a = \mu_Bg$$

Sobre o bloco A, atuam as seguintes forças: seu peso $\vec{P}_A$, a força de compressão exercida pelo bloco B, $\vec{N}_B$, a força normal, $\vec{N}_A$, exercida pela superfície, a força de atrito exercida pela superfície, $\vec{F}_{AS}$, a força de atrito exercida pelo bloco B, $\vec{F}_{AB}$, e a força $\vec{F}$.

A força peso $\vec{P}_A$, a força de compressão $\vec{N}_B$ e a força normal $\vec{N}_A$ anulam-se mutuamente. Temos, então, que a intensidade da força resultante que atua sobre o bloco A é dada por:

$F_{RA} = m_Aa_{sis} = F - (F_{AB} + F_{AS}) \Rightarrow$

$m_A\mu_Bg = F - [\mu_Bm_Bg + \mu_A(m_A + m_B)g] \Rightarrow$

$m_A\mu_Bg + \mu_Bm_Bg + \mu_A(m_A + m_B)g = F \Rightarrow$

$F = \mu_Bg(m_A + m_B) + \mu_A(m_A + m_B)g \Rightarrow$

$F = (\mu_A + \mu_B)(m_A + m_B)g$

Logo, a alternativa correta é a A.

Questão 09 – Letra B

Comentário: Sobre o bloco de massa m_2 atuam as seguintes forças: seu peso $\vec{P}_2$, a força de compressão exercida pelo bloco de massa m_1 (cuja intensidade é igual ao módulo do peso deste, $\vec{P}_1$), a força normal $\vec{N}_2$ exercida pela superfície do bloco de massa m_3, a força de atrito $\vec{F}_{1,2}$ exercida pelo bloco de massa m_1, a força de atrito $\vec{F}_{2,3}$ exercida pelo bloco de massa m_3 e a força $\vec{F}$. As forças $\vec{P}_2$, $\vec{P}_1$ e $\vec{N}_2$ são verticais, sendo $\vec{P}_2$ e $\vec{P}_1$ para baixo e $\vec{N}_2$ para cima. Já as forças $\vec{F}_{1,2}$, $\vec{F}_{2,3}$ e $\vec{F}$ são horizontais, sendo $\vec{F}_{1,2}$ e $\vec{F}_{2,3}$ para a esquerda e $\vec{F}$ para a direita. Logo, o diagrama que melhor representa as forças que atuam sobre o bloco de massa m_2 é o da alternativa B.

Questão 10 – Letra D

Comentário: Se a balança registra 72 kg, é porque a reação normal que esta exerce sobre o homem vale 720 N. Logo, a resultante sobre ele vale 120 N, dirigida para cima, e sua aceleração é de 2 m/s², pela Segunda Lei de Newton. Aplicando a equação de Torricelli aos dados apresentados na opção D , considerando a = 2m/s², vimos que esse resultado é consistente.

Questão 11 – Letra D

Comentário: De acordo com o enunciado da questão, o sistema mostrado é um sistema ideal. Logo, a corda é inextensível e são desprezíveis as massas da corda, das roldanas e os atritos. Foi dito também que o sistema encontra-se em equilíbrio. Sendo assim, o peso da barra de aço é sustentado pelas forças de tração exercidas pelos quatro ramos da corda. Tendo em vista que estamos lidando com um sistema ideal e que esse sistema encontra-se em equilíbrio, temos que o módulo da força de tração $\vec{T}$ é igual ao módulo da força $\vec{F}$, T = F. Dessa forma, o módulo do peso $\vec{P}$ da barra de aço é dado por:

$$P = 4T = 4F \Rightarrow P = 4.1\,000 \Rightarrow P = 4\,000 \text{ N}$$

Questão 12 – Letra E

Comentário: O bloco desliza quando a sua componente x do peso fica maior que a força de atrito estático máxima. Matematicamente, teremos:

P_x = P.sen θ

P_y = P.cos θ = N (equilíbrio na vertical)

$Fat_{máx}$= N.μ = P.cos θ.μ

Na situação limite, teremos, P_x = $Fat_{máx}$ Psen θ = Pcos θ.μ m= tg θ

Questão 13 – Letra D

Comentário: A adição de uma roldana móvel sempre divide por 2 a força necessária para manter o conjunto em equilíbrio. Logo, com duas roldanas, a força a ser feita é de P/4.

Questão 14

Comentário:

A) Sobre o balde atuam duas forças: a força peso do balde e a força de tração. Quando o balde encontra-se em repouso, o dinamômetro marca 100 N. Logo, nessa situação, o módulo da força de tração é de 100 N e, consequentemente, o módulo do peso do balde também é de 100 N. No momento em que o balde passa pelo ponto A, o dinamômetro marca 120 N; logo, o módulo da força de tração, nesse momento, é de 120 N. Sendo assim, o módulo da aceleração que atua sobre o balde nesse instante é dado por:

$$F_R = T - P \Rightarrow ma = T - P \Rightarrow a = (T - P)/m$$

Considerando g = 10 m/s², temos que a massa do balde é de 10 kg. Utilizando esse valor de massa na equação anterior, obtemos o módulo da aceleração:

$$a = (120 - 100)/10 \Rightarrow a = 2,0 \text{ m/s}^2$$

B) Não é possível concluir, pois sabemos apenas que o vetor aceleração está direcionado para cima e que seu módulo é de 2,0 m/s². Entretanto, não sabemos qual o sentido do vetor velocidade. Se o balde estiver subindo, seu movimento será acelerado. Se o balde estiver descendo, seu movimento será retardado.

Seção Enem

Questão 01 – Letra D

Eixo cognitivo: I

Competência de área: 6

Habilidade: 20

Comentário: Como o movimento das partículas é aleatório, na média um número igual de partículas colidirá com cada lado das palhetas. Assim, o movimento do eixo tende a ser nulo, já que um choque de um lado é balanceado por um choque do lado oposto. A utilidade da engrenagem é justamente impossibilitar que esse equilíbrio ocorra. Quando a palheta for atingida por uma partícula que a faça girar em um determinado sentido, a engrenagem irá travar o eixo, impossibilitando que um choque de uma partícula do lado oposto faça o eixo girar no sentido contrário. Com base nessa discussão, é fácil verificar que a alternativa correta é a D.

Questão 02 – Letra D

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 6

Habilidade: 20

Comentário: A força $\vec{F}$ é a força que o trabalhador faz para levantar a peça de ferro. Considerando que os arranjos mostrados nas figuras sejam ideais, temos que a força $\vec{F}$ exercida pelo trabalhador possui o mesmo módulo que a força de tração, ou seja, F = T. Observe que, nos arranjos mostrados nas alternativas A, B, C e E, o peso da peça de ferro é equilibrado pela força de tração; logo, P = T = F. Ou seja, nos arranjos A, B, C e E, a força exercida pelo trabalhador para erguer a peça de ferro, com velocidade constante, possui o mesmo módulo que a força peso da peça. Já no arranjo mostrado na alternativa D, o peso da peça de ferro é equilibrado pelas forças de tensão exercidas pelos dois ramos da corda. Nesse arranjo, temos que P = 2T = 2F, ou seja, F = P/2. Sendo assim, o arranjo que permite ao trabalhador erguer a peça de ferro com a menor força é o da alternativa D.

Questão 03 – Letra D

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 6

Habilidade: 20

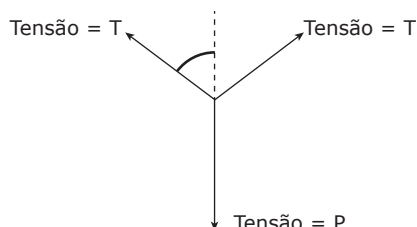
Comentário: O problema pode ser resolvido se imaginarmos que cada vagão é um bloco, um conectado ao outro por um fio, sendo o conjunto todo arrastado com velocidade constante. Como o valor da resultante das forças deve ser zero em todos os "blocos", é necessário que a força que puxa o conjunto C_1 exerça uma força maior para arrastar os outros blocos. A menor tensão é exercida pelo cabo C_3. Logo, se desejamos segurança e economia, o cabo 1 deve ser o mais grosso, seguido do cabo C_2, podendo o C_3 ser o mais fino, como afirmado pela alternativa D.

MÓDULO – B 07

Equilíbrio do ponto material

Exercícios de Fixação

Questão 01 – Letra B

Comentário: Professor, antes de fazer essa questão, faça uma experiência simples para simular o equilíbrio de forças no problema. Amarre um objeto no meio de um elástico e segure as pontas do elástico, mostrando que o equilíbrio ocorre para o elástico formando uma letra V. Depois, aumentando um pouco o ângulo do V, mostre que o novo equilíbrio ocorre com as duas extremidades do elástico estando mais alongadas. Portanto, quando maior o ângulo do V, maior a tensão no elástico. A mesma coisa ocorre quando usamos fios inextensíveis: quanto maior o ângulo do V, maior a tensão no fio. Agora, para provar isso analiticamente, considere a figura a seguir, que representa o sistema de forças dessa questão.

O valor da tensão no fio vertical é igual ao próprio peso do lustre (vamos desprezar o peso da corda). Por simetria, os valores das tensões nos fios inclinados são iguais a T. Para esse sistema ficar em equilíbrio, a soma algébrica das duas componentes verticais das tensões nos fios inclinados deve ser igual ao peso do lustre: $2T\cos\theta = P$. Portanto, a tensão nos fios inclinados é dada por $T = P/(2\cos\theta)$, de modo que a tensão aumenta à medida que o cosseno de θ diminui. Como o cosseno diminui quando θ aumenta, concluímos que a tensão aumenta com o aumento do ângulo θ (professor, aproveite para explicar que é impossível manter os fios na horizontal, pois quando θ tende para 90°, o cosseno tende para zero, de modo que as tensões nos fios tendem para ∞). Para os ângulos desta questão, temos:

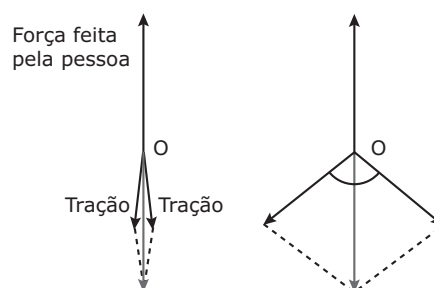
$\theta = 30°$: $T = P/(2\cos 30°) = P/(2.0{,}87)$

$\theta = 60°$: $T' = P/(2.\cos 60°) = P/(2.0{,}50)$

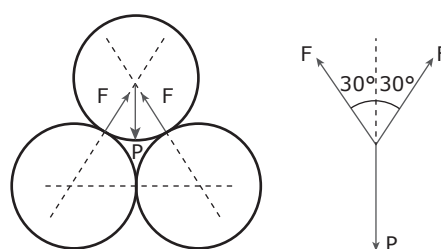
Portanto, $T'/T = 0{,}87/0{,}50 = 1{,}74$, ou seja, a tensão em cada fio inclinado se torna 1,74 vezes maior depois que suas inclinações passam de 30° para 60°.

Questão 02 – Letra A

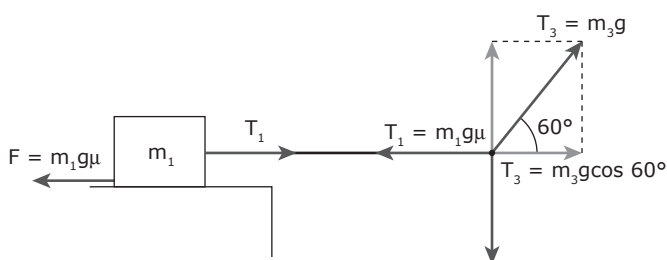
Comentário: Podemos resolver esse exercício usando um método gráfico. Para isso, devemos representar três forças agindo no ponto O, local em que a pessoa atua segurando os fios de sustentação do pacote: a força para cima é feita pela pessoa, e as duas forças inclinadas são exercidas pela parte esquerda e pela parte direita do fio (trações no fio). As figuras a seguir mostram essas forças para duas situações diferentes, uma em que o ângulo α entre as partes do fio é pequeno e outra na qual esse ângulo é grande. Nos dois casos, para o pacote permanecer em equilíbrio, a intensidade da força feita pela pessoa deve ser igual ao módulo do peso da carga. Da mesma forma, a intensidade da resultante das duas trações deve ser igual à intensidade da força feita pela pessoa. Observe que as duas situações a seguir foram desenhadas considerando-se essas características do sistema. Observe, ainda, que as trações são menores quando o ângulo α é pequeno. Para $\alpha = 0°$, cada tração vale a metade do peso. Quando α tende para 180°, a tração nos fios tende para o infinito. Nesse exercício, o maior valor de α é o da alternativa A.

Portanto, nessa posição, os fios sofrem a maior tração.

Questão 03 – Letra B

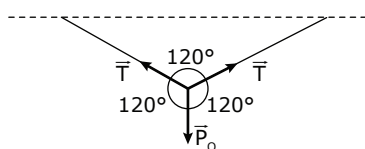
Comentário: A força de contato (módulo F) de um estojo sobre outro é perpendicular à superfície cilíndrica de cada estojo, de modo que a linha de ação dessa força passa pelo eixo central do cilindro. Por isso, as duas forças de contato que atuam em um estojo superior formam um ângulo de 60°, que é o valor dos ângulos internos do triângulo formado pelos segmentos que passam pelos eixos de um estojo superior e dois estojos inferiores adjacentes, como mostrado na figura a seguir (o vetor de módulo P representa do estojo). Para haver equilíbrio, a soma algébrica das componentes verticais de cada força de contato (Fcos 30°) deve ser igual ao peso P:

$$2\,F\cos 30° = P \qquad 2\,F\frac{\sqrt{3}}{2} = P \qquad F = \frac{P}{\sqrt{3}} = \frac{P\sqrt{3}}{3}$$

Questão 04 – Letra A

Comentário: Supondo iminência de movimento, a força de atrito estático entre o bloco de massa m_1 e a superfície horizontal de apoio é dada por $F = m_1g\mu$, sendo m_1g o peso do bloco e μ o coeficiente de atrito estático entre o bloco e a superfície. Além disso, essa força equilibra a força T_1 da corda horizontal. Por sua vez, T_1 equilibra a componente horizontal $m_3g\cos 60° = m_3g/2$, sendo m_3g o peso do bloco suspenso pela corda que passa pela roldana (figura a seguir). Portanto:

$$m_1g\mu = m_3g/2 \qquad \mu = \frac{m_3}{2m_1}$$

Questão 05

Comentário:

A) As forças que a parede aplica na rede são iguais àquelas que a rede exerce na parede – 3ª Lei de Newton (T = 60 kgf). As forças que atuam no centro da rede estão mostradas na figura a seguir. Como os ângulos são iguais, o peso do homem – considerado ponto material – está atuando no meio da rede.

Uma vez que os ângulos entre as três forças são iguais entre si e iguais a 120°, o módulo das três forças é o mesmo (como explicado na resolução da questão 3). Assim, o peso do homem é 60 kgf.

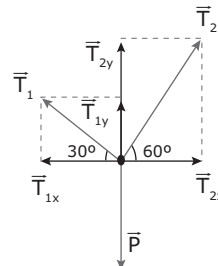
Professor, você pode resolver a questão com os alunos usando a Lei dos Cossenos ou fazendo uma decomposição das trações e igualando a resultante a zero.

B) De acordo com a solução do item anterior e como o ângulo não foi alterado, as forças feitas sobre os ganchos das paredes são iguais ao peso colocado na rede. Assim, as crianças devem pesar, no máximo, 130 kgf. Uma vez que cada criança tem 30 kgf, a rede suporta 4 crianças, exercendo um peso total de 120 kgf. Observe que uma quinta criança (peso total de 150 kgf) faria com que a força atuante sobre o gancho excedesse a força de resistência máxima da parede.

Exercícios Propostos

Questão 01 – Letra D

Comentário: O esquema a seguir representa as forças que atuam no ponto de interseção das cordas. A força T_1 = 10 N é a tração na corda da esquerda (leitura do dinamômetro), $\vec{T}_2$ é a tração na corda da direita e $\vec{P}$ é a tração na corda vertical (igual ao peso da esfera). As componentes horizontais e verticais de $\vec{T}_1$ e $\vec{T}_2$ também estão indicadas na figura.

Como o sistema está em equilíbrio, temos:

$T_{1x} = T_{2x} \Rightarrow T_1.\cos 30° = T_2.\cos 60°$

$P = T_{1y} + T_{2y} \Rightarrow P = T_1.\text{sen } 30° + T_2.\text{sen } 60°$

Utilizando os valores seguintes, T_1 = 10 N, sen 30° = cos 60° = 0,5 e sen 60° = cos 30° = $\sqrt{3}/2$, e resolvendo o sistema de equações, temos que P = 20 N e $T_2 = 10\sqrt{3}$ N.

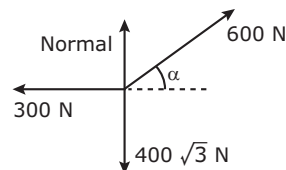
Portanto, a alternativa D é a correta.

Questão 02 – Letra A

Comentário: A componente vertical da força T no fio inclinado deve anular o peso de 5 N do conjunto lâmpada / soquete :

$T \text{ sen } 30° = 5 \Rightarrow T.1/2 = 5 \Rightarrow T = 10$ N

Questão 03 – Letra A

Comentário: A esfera está sujeita a quatro forças. Duas delas, de intensidades 300 N e 600 N, são as forças exercidas pelos fios que sustentam os dois blocos. As outras forças são o peso ($400\sqrt{3}$ N) e a normal feita pela superfície de apoio na esfera. A figura a seguir mostra, esquematicamente, essas forças.

Igualando a componente horizontal da força de 600 N, que é voltada para a esquerda, com a força de 300 N, que é voltada para a direita, obtemos o ângulo α:

$600.\cos \alpha = 300 \Rightarrow \cos \alpha = 0{,}500 \Rightarrow \alpha = 60°$

Para achar o módulo da normal, N, vamos igualar a soma de N com a componente vertical da força de 600 N, ambas voltadas para cima, com a força de $400\sqrt{3}$ N, que é voltada para baixo:

$N + 600.\text{sen } \alpha = 400\sqrt{3} \Rightarrow$

$N + 600.\frac{\sqrt{3}}{2} = 400\sqrt{3} \Rightarrow$

$N = 100\sqrt{3}$ N

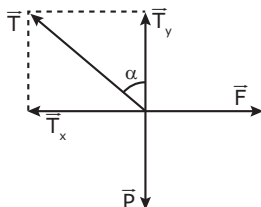
Sendo assim, a alternativa A é a correta.

Questão 04 – Letra C

Comentário: O valor máximo da resultante de dois vetores ocorre quando eles apresentam a mesma direção e sentido, e o valor mínimo, quando eles são opostos. Qualquer valor entre esses extremos é possível, dependendo do ângulo entre os vetores. Portanto, nesse exercício, o valor máximo para a resultante das forças é 22 N (10 N + 12 N) e o valor mínimo é 2 N (12 N − 10 N). Dessa forma, a única resultante possível, entre as opções apresentadas, é 15 N. Vale a pena comentar que, para esse valor de resultante, o ângulo entre as duas forças é próximo a 90°. Nesse caso, podemos usar o Teorema de Pitágoras para achar a resultante, cujo valor é bem próximo de 15 N, como indicado no cálculo a seguir:

$$\sqrt{102 + 122} + \sqrt{244} = 15,6\ N$$

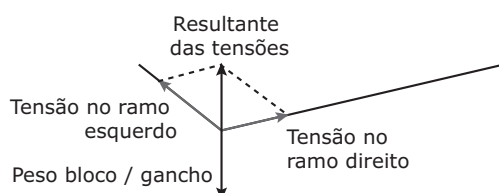
Questão 05 – Letra E

Comentário: A figura mostra as três forças que agem no ponto em que atua a força $\vec{F}$, cujo módulo queremos achar em função do ângulo θ e do peso $\vec{P}$ do bloco. Além dessas forças, a figura mostra ainda as componentes vertical e horizontal da força $\vec{T}$.

O módulo da componente vertical $\vec{T}_y$ é igual ao módulo do peso do bloco, enquanto o módulo da componente horizontal $\vec{T}_x$ é igual ao módulo da força procurada. Assim, temos:

$$T_y = P \text{ e } T_x = F$$

Como tg θ = T_x/T_y (cateto oposto / cateto adjacente), concluímos que tg θ também é igual a F/P. Portanto, F = P.tg θ, como indicado na alternativa E.

Questão 07 – Letra B

Comentário: A resultante das trações nos dois ramos do varal é uma força vertical e voltada para cima, pois deve anular o peso do bloco / gancho. Veja a figura a seguir. Como esse peso é constante, a resultante das tensões também é constante, independentemente da posição do bloco. Podemos detalhar um pouco mais o problema, notando que, para o bloco situado no meio do varal, a intensidade das trações são iguais nos dois ramos. Quando o bloco está mais à esquerda, como mostrado na figura, a intensidade da tração no ramo da esquerda é maior do que a intensidade da tração no ramo da direita. Ao contrário, quando o bloco está mais à direita, a tração no ramo direito é a de maior módulo. Porém, em todas as posições, a resultante dessas trações é constante.

Questão 08 – Letra B

Comentário: A figura mostra as três forças que agem no paraquedista. Como o movimento é Retilíneo Uniforme, a resultante dessas forças vale zero. Portanto, a afirmativa da letra A é falsa e a da letra B é verdadeira. A afirmativa da letra C é falsa porque o barco também se move em Movimento Retilíneo Uniforme, de modo que a resultante no barco, como a resultante de forças no paraquedista, vale zero. A afirmativa da letra D é falsa porque o peso do paraquedista só depende de sua massa. A afirmativa da letra E é falsa, pois a componente vertical da força exercida pelo *paraglider* é igual à soma algébrica do peso do paraquedista com a componente vertical da força do barco sobre ele. Portanto, a força do *paraglider* é maior que o peso do paraquedista.

Questão 09 – Letra E

Comentário: A figura a seguir mostra o esquema das forças no bodoque. A força F que o menino faz no bodoque deve ser igual à soma algébrica das componentes na direção x das forças nos elásticos. Cada uma dessas forças vale 5 N, dada pelo produto entre a constante elástica K = 100 N/m de cada elástico e sua deformação x = 0,05 m. Assim:

$$F = 2.\,5.\cos 30° \qquad F = 10\frac{\sqrt{3}}{2} = 5\sqrt{3}$$

Questão 10 – Soma = 12

Comentário: As componentes horizontais das trações à esquerda e à direita do ponto C são iguais, de forma que:

F_x = 200.cos 30° = 200.($\sqrt{3}$/2) $\Rightarrow$ F_x = 100$\sqrt{3}$ N e

T_x = T.cos 60° = T/2 $\Rightarrow$ T = 200$\sqrt{3}$ N

As componentes verticais das trações nos dois ramos são:

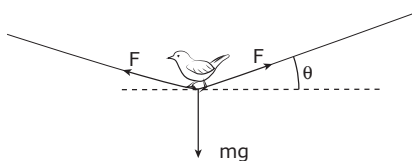
F_y = 200.sen 30° = 100 N e T_y = 200$\sqrt{3}$.sen 60° = 300 N

A soma das intensidades dessas componentes é igual ao módulo do peso do bloco:

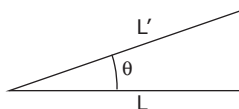
$$P = 100 + 300 = 400\ N$$

Assim, as afirmações dos itens 04 e 08 são corretas; logo, a soma solicitada é 12.

Questão 11

Comentário: A figura mostra o esquema de forças no ponto médio do fio elástico onde o passarinho pousou.

De acordo com a condição de equilíbrio, o peso mg do passarinho deve ser igual à soma das componentes verticais das duas forças elásticas F no fio:

$$2\ F\ \text{sen}\ \theta = mg$$

A força elástica é dada pela lei de Hooke, F = Kx, sendo K a constante elástica do fio e x a deformação do fio, que é a diferença entre a metade do comprimento do fio esticado (L′) e a metade do comprimento antes de o fio ser esticado (L). A figura a seguir mostra o triângulo formado por esses comprimentos.

Usando trigonometria, podemos expressar a diferença x entre L′ e L em função de L e do ângulo θ:

$$x = L' - L = \frac{L}{\cos\theta} - L = L\ \frac{1}{\cos\theta} - 1$$

Substituindo essa expressão na fórmula F = Kx, e depois substituindo essa força na condição de equilíbrio, obtemos:

$$2kL\ \frac{1}{\cos\theta} - 1\ \text{sen}\ \theta = mg \qquad m = \frac{2kL}{g}\left(\text{tg}\ \theta - \text{sen}\ \theta\right)$$

Questão 14

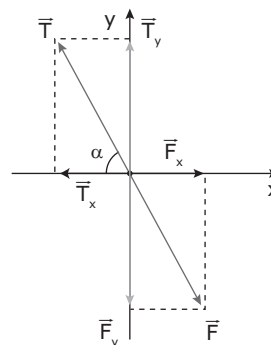
Comentário:

A) Com os braços na vertical, a soma dos módulos das trações (que são iguais entre si) deve ser igual ao módulo do peso do atleta. Assim, temos:

$$2T = P = mg \Rightarrow 2T = 60.10 \Rightarrow T = 3{,}0 \times 10^2\ \text{N}$$

B) O esquema a seguir representa as forças que atuam sobre a corda à direita (para o leitor), quando o atleta mantém os braços na horizontal. A força $\vec{F}$ é a força exercida pelo atleta e a força $\vec{T}$ é a força de tração. A intensidade da componente $\vec{F}_y$ é igual a 300 N e corresponde à metade do peso do atleta. Como há equilíbrio, $T_y = F_y = 300$ N. Além disso, $T_x = F_x$, que é o módulo da componente horizontal da força, pedido na questão. A tangente do ângulo α pode ser calculada tanto por meio do triângulo de forças quanto por meio do triângulo de distâncias. Assim:

$$\text{tg}\ \alpha = T_y/T_x = H/[(L - d)/2]$$

Utilizando os dados geométricos dados na questão, obtemos tg α = 6,0. Assim, T_x = 300/6,0 = 50 N.

Seção Enem

Questão 01 – Letra D

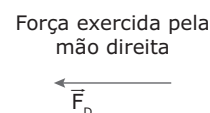
Eixo cognitivo: III

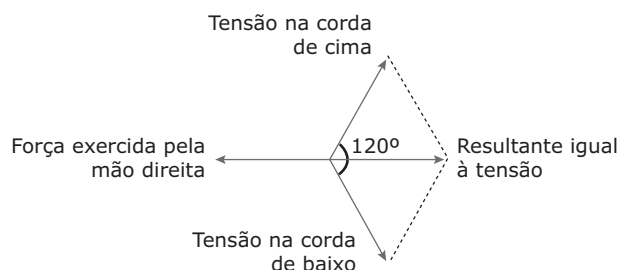
Competência de área: 5

Habilidade: 17

Comentário: A força exercida pela mão direita (aquela que puxa as cordas) é horizontal e para trás. Já a força exercida pela mão esquerda (aquela que segura o arco) apresenta duas componentes, uma vertical para cima, de mesma intensidade e sentido oposto ao peso do arco, e uma horizontal para frente. Essa componente horizontal, de fato, possui a mesma intensidade e sentido oposto ao da força exercida pela outra mão. A figura a seguir ilustra as direções e os sentidos das forças exercidas pelas duas mãos do arqueiro.

Força exercida pela mão direita

$\vec{F}_D$

Força exercida pela mão esquerda

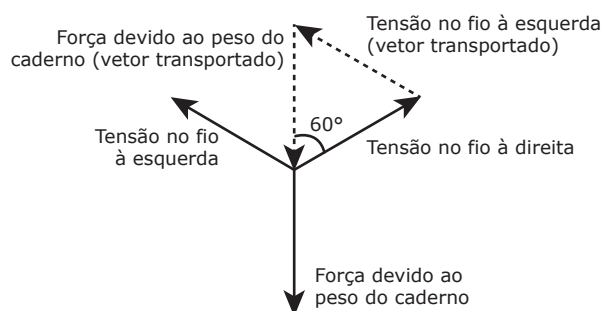
Se o "V" das cordas formar um ângulo de 120°, a força exercida pela mão direita terá o mesmo módulo da tração na corda, pois duas forças de mesma intensidade F (no caso, as duas tensões na corda, acima e abaixo da mão) produzem uma resultante de intensidade também F, quando o ângulo entre essas forças é de 120°, conforme está ilustrado na figura a seguir.

Tendo em vista a discussão anterior, conclui-se que a alternativa correta é a D.

Questão 02 – Letra C

Eixo cognitivo: I

Competência de área: 6

Habilidade: 20

Comentário: Por simetria, as tensões nos dois fios são sempre iguais, independentemente do ângulo entre os fios. Para os fios na posição vertical ($\theta = 0°$), cada fio sustenta a metade do peso do caderno. Essa é a posição em que os fios sofrem a menor solicitação de esforços. À medida que os fios são afastados, o ângulo aumenta, e as tensões nos fios também aumentam. Para um ângulo $\theta = 120°$, a tensão em cada fio tem o próprio valor do peso do caderno. Uma maneira simples de provar isso é desenhando as três forças atuantes no ponto de união dos fios para essa situação (figura a seguir). Observe que o triângulo mostrado na figura é equilátero, pois ele é formado por dois lados iguais, a tensão no fio à esquerda e a tensão no fio à direita, e um dos ângulos internos (indicado na figura) vale 60° (lembre-se de que estamos analisando o caso em que o ângulo entre os fios vale 120°). Sendo equilátero, todas as forças são iguais. O valor comum é o peso do caderno.

Como um dos fios se rompeu antes de o ângulo entre os fios atingir 120° (o rompimento ocorreu para o ângulo de 100°), concluímos que a tensão nos fios era maior do que a metade do peso e menor do que o peso. Não é possível prever qual fio e em que ponto ocorreu essa ruptura. Embora os fios sejam homogêneos, há um ponto mais frágil sobre um deles, e é ali que se dá o rompimento.

MÓDULO – B 08

Equilíbrio de corpos extensos

Exercícios de Fixação

Questão 01 – Letra C

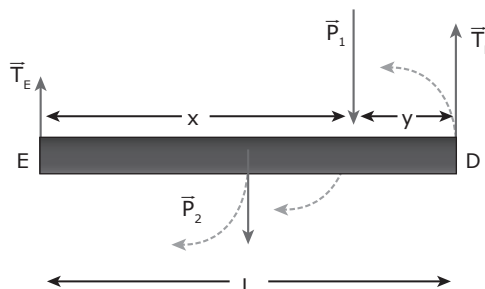
Comentário: A força aplicada no refrigerante pode ser determinada aplicando-se a 2ª Lei de Newton:

$$F = ma = 0,300 \text{ kg}.\ 70,0 \text{ m/s}^2 = 21 \text{ N}$$

Essa força pode ser considerada tangente à trajetória. Assim, o torque, ou momento de força, da força sobre o copo com refrigerante é dado pelo produto da força pelo comprimento do antebraço:

$$T = 21 \text{ N}.\ 0,25 \text{ m} = 5,25 \text{ Nm}$$

Questão 02 – Letra C

Comentário: A figura a seguir representa as forças que agem no andaime: $\vec{T}_E$ e $\vec{T}_D$ são as forças exercidas pelas cordas, de módulos iguais às trações nas cordas, $\vec{P}_1$ é a força de compressão do homem sobre a prancha, cujo módulo é igual ao módulo do peso do homem, e $\vec{P}_2$ é o peso do andaime. Na figura, indicamos também os sentidos dos momentos que as forças $\vec{T}_D$, $\vec{P}_1$ e $\vec{P}_2$ exercem no andaime em relação ao ponto E.

Tendo em vista a 1ª condição para que o andaime esteja em equilíbrio (a resultante de forças ser zero), conclui-se que a soma dos módulos das forças orientadas para cima deve ser igual ao módulo das forças orientadas para baixo. Assim, $P_1 + P_2 = T_E + T_D$. Como $P_1 + P_2 = P$, temos que $T_E + T_D = P$.

É claro que podemos concluir a resolução desse problema de forma intuitiva, simplesmente pensando que a corda mais próxima do pedreiro recebe a maior parte do efeito do peso do homem e, portanto, deve estar sujeita à maior tração, de forma que $T_D > T_E$. A seguir, apresentamos esse resultado de uma maneira mais rigorosa.

Tendo em vista a 2ª condição para que o andaime esteja em equilíbrio (a resultante dos momentos ser zero), e calculando os momentos das forças em relação ao ponto E da figura, concluímos que:

$$T_D L = P_1 x + P_2 L/2 \Rightarrow T_D = P_1 x/L + P_2/2$$

Note que a tração no lado direito recebe um efeito igual à metade do peso do andaime. Isso era esperado, pois o peso do andaime, sendo este homogêneo, age em seu centro de gravidade. Como x é maior do que L/2 (o pedreiro está próximo à extremidade direita), concluímos que a primeira parcela é maior do que a $P_1/2$. Esse resultado também era esperado, pois a corda direita, mais perto do pedreiro, recebe a maior parte do efeito do seu peso. Usando o mesmo raciocínio e tomando os momentos em relação ao ponto D, obtemos:

$$T_E = P_1 y/L + P_2/2$$

Como y é menor do que L/2, o efeito do peso do homem na corda esquerda é menor do que na outra corda, como já era esperado. Tendo em vista a discussão anterior, conclui-se que a alternativa correta é a C.

Questão 03 – Letra C

Comentário: O corpo de massa M sobre a balança cria um momento que tende a girar a balança no sentido anti-horário. Em relação à articulação da balança, esse momento é Mgx, sendo Mg o peso do corpo (g é a aceleração da gravidade) e x a distância do corpo à articulação. O outro momento é realizado pelo peso P do lastro da balança (o pequeno corpo que pode ser deslocado ao longo da haste da balança), e que tende a girar a balança no sentido horário. Esse momento é dado por Pd, sendo d a distância do lastro à articulação da balança. Desprezando o peso do prato / gancho e o peso da haste da balança, o equilíbrio de momentos que faz a haste da balança ficar parada na horizontal é:

$$Pd = Mgx$$

Explicitando d, obtemos:

$$d = \frac{gx}{P}M$$

Como g, x e P são constantes, P é diretamente proporcional a M. Por isso, podemos usar uma regra de três simples para resolver o problema. Quando M é 5 kg, d é 15 cm. Então, quando M for 8 kg, então d será:

$$\frac{5\,kg}{15\,cm} = \frac{8\,kg}{d} \qquad d = 24$$

Professor, os alunos tendem a resolver muitos problemas de Física por meio de regra de três. Nesse problema, se, por exemplo, a massa da haste da balança fosse considerada, nós não poderíamos usar uma regra de três para resolver o problema. Vamos supor que a massa da haste seja m = 0,5 kg e que o centro de gravidade da haste esteja 40 cm à direita da articulação da balança. Qual seria a resposta do problema, supondo que todos os outros dados sejam os mesmos? Nesse caso, a equação de equilíbrio de momentos seria:

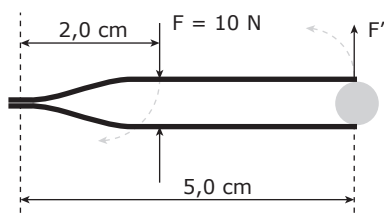
$$Pd + 0{,}5g.40 = Mgx$$

Explicitando d, obtemos:

$$d = \frac{Mgx - 20g}{P}$$

Note que d aumenta linearmente com M, mas d não é mais diretamente proporcional a M. Para fazer a questão, precisamos saber o valor de P (ou de x). Depois, substituindo M = 5 kg, d = 15 cm e g = 10 m/s^2 na equação anterior, iremos achar o valor de x. Por último, substituindo P e o valor calculado para x na equação anterior, mas agora usando M = 8 kg, poderemos achar o novo valor da distância d. Por exemplo, se P for igual a 1 N, então a distância x será 4,3 cm. Para M = 8 kg, a distância d será 144 cm.

Questão 04 – Letra D

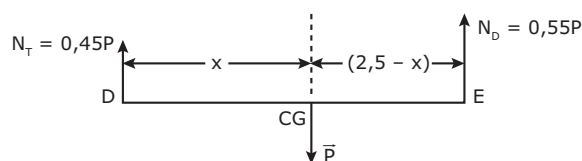
Comentário: A figura mostra as forças que agem no braço superior da pinça. Há ainda o peso do braço, que foi desprezado, e a força na articulação, que não cria momento de força em relação à própria articulação. A força F = 10 N aplicada no braço tende a girar o braço no sentido horário, enquanto a força F', exercida pelo do objeto pinçado, tende a girar o braço no sentido anti-horário.

Para calcular F', basta igualar os momentos criados pelas duas forças:

$$F'.5{,}0 = 10.2{,}0 \Rightarrow F = 4{,}0\ N$$

Professor, calcule também a força F" no ponto de articulação. Essa força, no braço superior, vale 6,0 N e é voltada para cima, pois, assim, a força resultante no braço é zero. Essa força também poderia ser calculada, considerando-se os momentos de força em relação à ponta da pinça onde o objeto é preso. Nesse caso, a força F = 10 N cria um momento no sentido anti-horário e a força F" cria um momento no sentido horário:

$$F''.5{,}0 = 10.3{,}0 \Rightarrow F'' = 6{,}0\ N$$

Questão 05

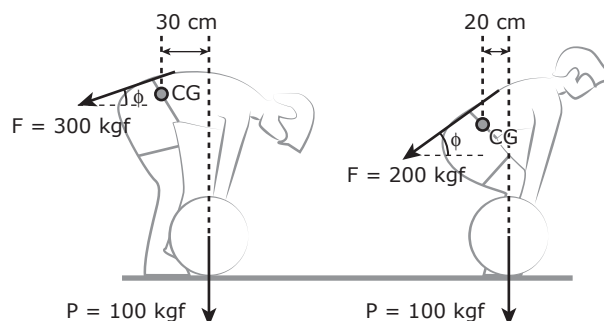
Comentário: A figura a seguir representa, esquematicamente, a força normal do solo sobre as rodas dianteiras ($\vec{N}_D$), a força normal sobre as rodas traseiras ($\vec{N}_T$) e o peso do trator ($\vec{P}$). Esse último atua no centro de gravidade (CG), cuja distância às rodas traseiras (x) desejamos calcular. De acordo com os dados, os valores das forças $\vec{N}_D$ e $\vec{N}_T$ valem, respectivamente, 55% e 45% do peso do trator.

Para calcular o valor de x, devemos realizar o balanço de momentos de força em relação a um ponto qualquer, como o ponto D. Usando esse ponto como referência, obtemos:

$$Px = 0{,}55P.2{,}5 \Rightarrow x = 1{,}4\ m$$

Observe que o peso real do trator (13 000.10) = 1,30 x 10^5 N não é necessário para achar a resposta desse exercício.

Exercícios Propostos

Questão 01 – Letra E

Comentário: Esta questão pode ser resolvida simplesmente pela leitura do gráfico dado: quanto maior o ângulo ϕ entre a coluna vertebral e a horizontal (o solo, em última análise), menor o esforço para erguer um peso. Em outras palavras, para levantar um peso com mais facilidade, nós devemos manter a linha da coluna vertebral o mais próximo possível da posição vertical, de modo que ϕ seja próximo de 90°. Por isso, as afirmativas II e III são corretas, e a afirmativa I não. Professor, explore mais esta questão, aplicando o conceito de momento de força na figura a seguir. Vamos considerar que a distância da linha da coluna vertebral ao centro de gravidade do homem (CG) seja igual a 10 cm. Na condição de iminência de levantamento do peso, o torque da força F que a musculatura da coluna vertebral exerce em relação ao CG deve ser igual ao torque do peso P.

A 1ª posição mostrada nesta figura é inadequada, pois o ângulo ϕ é pequeno. Isso faz com que a distância entre a linha de ação de P e o centro de gravidade seja maior. Na verdade, é por isso que a força F é maior nessa posição. Aplicando a condição de equilíbrio de torque, obtemos:

$$F.10\ cm = 100\ kgf.30\ cm \Rightarrow F = 300\ kgf$$

Na 2ª posição, o ângulo ϕ é maior e, por isso, a distância entre a linha de ação de P e CG se torna menor (veja que essa distância diminuiu de 30 cm para 20 cm). Agora, o esforço para erguer os halteres vale:

F.10 cm = 100 kgf.20 cm $\Rightarrow$ F = 200 kgf

Resumindo, é mais fácil levantar um peso quando esse se acha mais perto do nosso corpo.

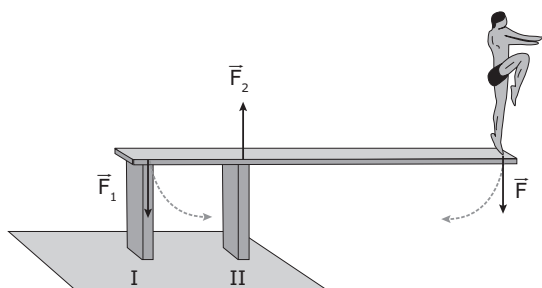
Questão 02 – Letra B

Comentário: Quando o disco de massa máxima é posto no encaixe E do lado direito, a barra fica na iminência de girar no sentido horário. Nessa circunstância, toda a carga da barra estará atuando no apoio S_2, de forma que a barra não exercerá sobre S_1 qualquer compressão. O peso da barra, que possui módulo de 100 N e atua no centro da barra (centro de gravidade), exerce um momento no sentido anti-horário em relação ao apoio S_2. Esse é o momento que se contrapõe ao momento no sentido horário devido ao efeito do peso do disco no encaixe E. Igualando esses dois momentos, em relação ao apoio S_2, obtemos o módulo do peso máximo do disco, para o qual a barra permanece em equilíbrio.

(Peso da barra).(distância do CG ao apoio S_2) =
(Peso do disco).(distância de E ao apoio S_2)
$100.0{,}50 = m_{Máx.}.10.0{,}40 \Rightarrow m_{Máx.} = 12{,}5$ Kg

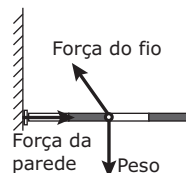
Portanto, a massa máxima do disco é de 12,5 kg. Entre os discos apresentados nas alternativas, devemos limitar nossa escolha ao uso do disco de massa 10 kg, pois o próximo valor, 15 kg, ultrapassa o valor máximo permitido de 12,5 kg. Portanto, a alternativa B é a correta.

Questão 03 – Letra C

Comentário: Tomando a estaca I como referência, a estaca II é comprimida pelo trampolim, de forma que a força sobre essa estaca é vertical e para baixo. Por isso, a reação da estaca II sobre o trampolim é vertical e voltada para cima. Tomando a estaca II como referência, a força de compressão exercida pelo rapaz sobre a ponta do trampolim tende a girar o trampolim no sentido horário. Para haver equilíbrio, a força da estaca I sobre o trampolim deve tender a girar o trampolim no sentido anti-horário, conforme está ilustrado na figura a seguir. Para que isso ocorra, a força que a estaca I exerce sobre o trampolim deve ser vertical e para baixo. Da discussão anterior, conclui-se que a alternativa C é a correta.

Questão 05 – Letra E

Comentário: Quando três forças agem sobre um corpo em equilíbrio estático, ou essas forças são paralelas, ou as linhas de ação dessas forças passam por um ponto comum as forças são concorrentes. As alternativas A, B, C e D não são corretas porque há palavras mal empregadas nas quatro afirmativas. Por exemplo, a alternativa A estaria correta se, em vez de ser "As três forças são necessariamente concorrentes", fosse "As três forças podem ser concorrentes". Sendo assim, a alternativa E está correta.

Questão 06 – Letra B

Comentário: Três forças não paralelas atuam na haste (o peso, a força exercida pelo fio e a força exercida pela parede), de modo que podemos usar o Teorema das Três Forças para resolver essa questão. No caso da alternativa B, note que o peso da haste (que age no centro desta) e a força exercida pelo fio passam pelo centro da barra. Logo, a força exercida pela parede sobre a haste deve ser horizontal, pois sua linha de ação deve passar pelo centro da barra, que é, nessa circunstância, o ponto comum das linhas de ação das três forças. A figura adiante mostra as direções e os sentidos das três forças atuantes na barra.

Questão 07 – Letra A

Comentário: Como o sistema da figura está em equilíbrio, a somatória dos momentos deve ser nula. A massa m gera um momento $M_1 = -P_1d_1 = -mgd_1 = -4mg$ (horário). No que diz respeito ao momento gerado pela massa M, ele pode ser calculado por $M_2 = (P_2/4)d_2 = Mgd_2/4 = Mg/2$ (anti-horário); o fator $(P_2/4)$ se deve ao sistema de roldanas empregado na montagem. Como $M_1 + M_2 = 0$, então $M/m = 8$. Portanto, a alternativa A é a correta.

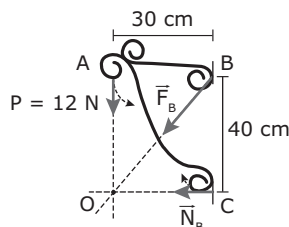
Questão 08 – Letra A

Comentário: A pessoa consegue levantar o peso, pois o momento M_1 da força F = 50 N feita pela pessoa e o momento M_2 do peso P = 100 N do bloco, ambos em relação ao ponto de apoio da barra, valem:

M_1 = 50 N.3 m = 150 N.m e M_2 = 100 N.1 m = 100 N.m

Sendo $M_2 > M_1$, a barra irá girar no sentido anti-horário, de modo que o bloco será erguido.

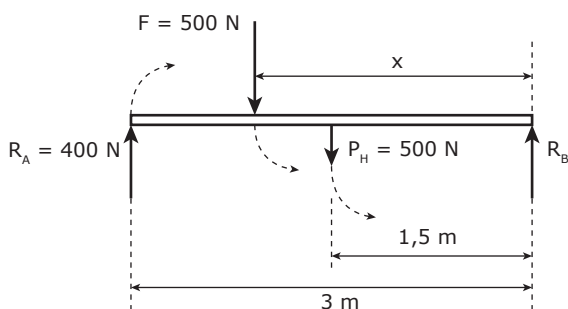
Questão 09 – Letra B

Comentário: É fácil perceber que, em relação ao ponto B, o peso do vaso tende a girar o conjunto no sentido anti-horário. Isso não ocorre porque a parede, no ponto C, exerce uma força de reação normal sobre a armação (conforme mostra o esquema a seguir). Essa força tende a girar o sistema no sentido horário. Na figura, representamos também a força exercida pela parede sobre a armação no ponto B. Observe que a linha de ação dessa força passa pelo ponto O, que é o ponto em que as linhas de ação das três forças são concorrentes (Teorema das Três Forças). Observe que a distância entre B e C é de 40 cm. Esse valor foi calculado pelo Teorema de Pitágoras, considerando os valores dados: AB = 30 cm e AC = 50 cm.

O momento resultante sobre a armação é zero, pois ela está em equilíbrio. Como queremos calcular a força N_C ($N_C = F_C$), devemos tomar os momentos em relação ao ponto B (assim, não precisamos nos preocupar com o efeito da força F_B). Fazendo isso, obtemos:

$$N_C.40 = 12.30 \Rightarrow N_C = 9{,}0 \text{ N}$$

Esse resultado é mostrado na letra B.

Questão 10 – Letra B

Comentário: A figura a seguir mostra o esquema das forças que agem na barra: o peso $P_B = 200$ N, a força de compressão F = 500 N que o conjunto palhaço / monociclo exerce na barra (que é igual ao peso desse conjunto) e as reações R_A e R_B das mãos dos palhaços que suportam a barra nas extremidades A e B.

Quando a reação R_A for igual a 400 N (carga máxima que o palhaço em A suporta), a máxima distância x do palhaço no monociclo ao apoio B pode ser calculada igualando-se o torque no sentido horário criado pela reação R_A em relação ao apoio B com a soma dos torques no sentido anti-horário criados pelas forças F e P_B (note que a reação R_B não cria torque em relação ao apoio B):

$$400.3 = 500.x + 200.1,5 \Rightarrow x = 1,8 \text{ m}$$

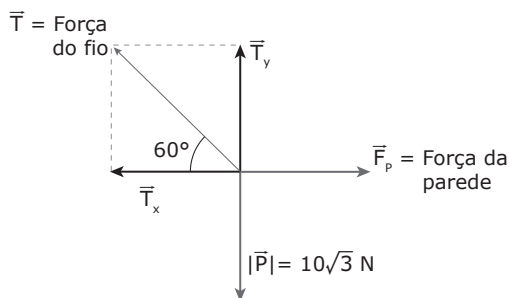
Professor, explore um pouco mais esta questão. Calcule a carga que o palhaço na extremidade B está suportando para x = 1,8 m. Obviamente, essa carga é igual ao valor da reação R_B, que pode ser obtida de duas maneiras. A 1ª consiste em aplicar a condição de resultante de forças igual a zero na barra. Assim, a soma das forças voltadas para baixo é igual à soma das forças voltadas para cima:

$$500 + 200 = 400 + R_B \Rightarrow R_B = 300 \text{ N}$$

A 2ª maneira de achar R_B consiste em fazer o balanço de torque na barra em relação a extremidade A. Nesse caso, os torques criados por F e P_B tendem a gira a barra no sentido horário, enquanto o torque criado por R_B tende a girar a barra no sentido anti-horário (agora, a reação R_A é que não cria torque):

$$R_B.3 = 500.(3 - 1,8) + 200.1,5 \Rightarrow R_B = 300 \text{ N}$$

Questão 11

Comentário: A figura mostra as três forças atuantes na esfera: o seu peso, a força exercida pelo fio e a força exercida pela parede. Observe que a direção da força exercida pela parede é horizontal, pois não há atrito na parede vertical. O ângulo mostrado na figura é de 60°, pois o triângulo retângulo formado pelo raio da esfera, pela parede e pelo segmento do fio, mais o raio da esfera, apresenta um cateto horizontal igual a R (raio da esfera) e uma hipotenusa igual a 2R.

Como a esfera está em equilíbrio, temos, na direção y:

$$P = T_y \Rightarrow 10\sqrt{3} = T.\text{sen } 60° = T.\sqrt{3}/2 \Rightarrow T = 20 \text{ N}$$

E, na direção x, temos:

$$F_P = T_x = T.\cos 60° = T/2 = 20/2 = 10 \text{ N}$$

Questão 12 – Letra C

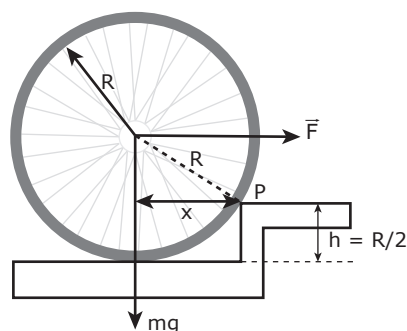
Comentário: A força F mínima para a roda subir o degrau deve criar um momento M_1 no sentido horário ligeiramente maior que o momento M_2 no sentido oposto criado pelo peso mg da roda. Esses momentos, tomados em relação ao ponto P de contato da roda com o degrau (figura a seguir), são dados por:

$$M_1 = F.R/2 \text{ e } M_2 = mg.x$$

A distância x pode ser obtida pelo Teorema de Pitágoras:

$$x = \sqrt{R^2 - \frac{R^2}{4}} = \frac{\sqrt{3}}{2}R$$

Substituindo essa distância em M_2 e igualando M_1 e M_2, obtemos a força F para a roda subir o degrau (na verdade, a força mínima é ligeiramente maior que esse valor):

$$F.\frac{R}{2} = mg\frac{\sqrt{3}}{2}R \quad F = mg\sqrt{3}$$

Questão 13

Comentário: Na posição limite do operário (valor máximo de d), a tábua acha-se na iminência de girar no sentido horário, em relação ao ponto B. Nessa circunstância, a intensidade da força normal do apoio A é zero. Assim, apenas a força de compressão exercida pelo operário e o peso da tábua exercem momentos em relação ao ponto B. Nesse ponto, existe uma reação normal. Naturalmente, a normal em B não exerce momento em relação ao ponto B. Ainda em relação ao ponto B, a força de compressão exercida pelo operário produz um momento no sentido horário, enquanto o peso da tábua gera um momento no sentido anti-horário. Por isso, podemos igualar esses momentos. Fazendo isso, obtemos:

$$600x = 300.1 \Rightarrow x = 0,5 \text{ m}$$

Em que x é a distância do operário ao ponto B. Portanto, a distância solicitada é:

$$d = 4 + x = 4,5 \text{ m}$$

Seção Enem

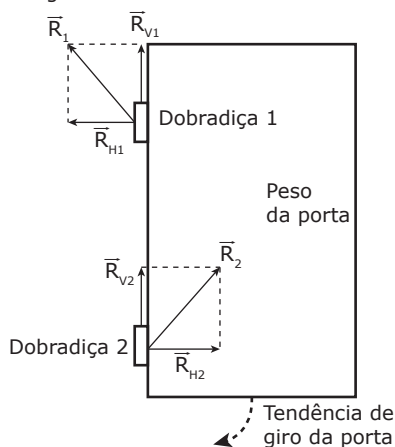
Questão 01 – Letra D

Eixo cognitivo: I

Competência de área: 6

Habilidade: 20

Comentário: O efeito da gravidade faz a porta puxar as duas dobradiças para baixo. Por isso, as reações $\vec{R}_{V1}$ e $\vec{R}_{V2}$ que as dobradiças superior (1) e inferior (2) exercem na porta são voltadas para cima, conforme mostrado na figura a seguir. Por inspeção, sabemos que o peso da porta cria um torque que tende a girá-la no sentido horário. Por isso, há um esforço tracionando a dobradiça superior, e outro comprimindo

a dobradiça inferior. Por isso, a reação horizontal $\vec{R}_{H1}$ da dobradiça superior sobre a porta é voltada para a esquerda, enquanto a reação horizontal R_{H2} da dobradiça inferior sobre a porta é voltada para a direita, como mostrado na figura. Por fim, as reações $\vec{R}_1$ e $\vec{R}_2$ das dobradiças na porta podem ser obtidas por meio da regra do paralelogramo, conforme mostrado na figura.

Questão 02 – Letra A

Eixo cognitivo: IV

Competência de área: 5

Habilidade: 17

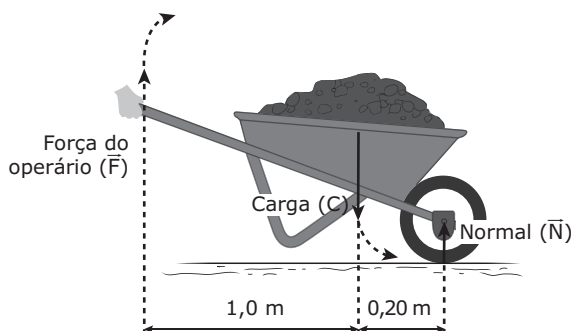
Comentário: Tanto o peso do portão quanto o peso do menino produzem um momento no sentido horário em relação às dobradiças. Devido à existência desses momentos de força, a dobradiça A é tracionada, e a dobradiça B é comprimida. Os materiais, geralmente, são mais resistentes à compressão do que à tração; portanto, é mais provável que a dobradiça A arrebente primeiro.

Questão 03 – Letra A

Eixo cognitivo: I

Competência de área: 6

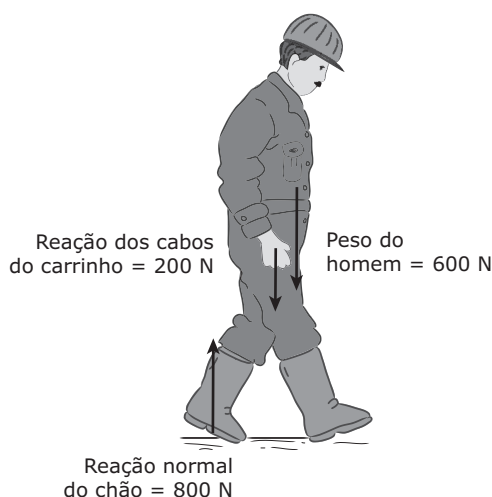
Habilidade: 20

Comentário: A força total vertical máxima que o operário pode fazer é 200 N (1/3 do seu peso: m.g/3 = 60.10/3 = 200 N). Na verdade, cada mão faz 100 N. Como não há rotação, a resultante dos momentos de forças sobre o carrinho vale zero. A figura a seguir mostra as três forças sobre o carrinho.

Em relação ao ponto de apoio no solo, a força $\vec{F}$ (do operário) cria um momento no sentido horário e a força C (carga = peso total do carrinho e do material transportado) cria um momento no sentido anti-horário, conforme está indicado na figura. A igualdade desses momentos leva à determinação da força C:

$$C.0{,}20 = F.1{,}20 \Rightarrow C.0{,}20 = 200.1{,}20 \Rightarrow C = 1\,200\text{ N}$$

A massa correspondente a essa força vale C/g = 1 200/10 = 120 kg. Essa é a carga máxima que o homem pode transportar. Como não há movimento vertical, a resultante das forças verticais no carrinho vale zero (a resultantes das forças horizontais também será zero, caso o movimento do carrinho seja retilíneo uniforme). Assim:

$$F + N = C \Rightarrow 200 + N = 1\,200 \Rightarrow N = 1\,000\text{ N}$$

As forças sobre o homem estão indicadas na próxima figura. O seu peso vale 600 N e a força dos dois cabos do carrinho sobre as mãos vale 200 N. Observe que essa força é para baixo, pois ela é a reação da força F que o homem faz nos cabos. Portanto, para haver equilíbrio, a normal do solo sobre o operário deve ser 800 N.

MÓDULO – C 07

Movimento Harmônico Simples (MHS)

Exercícios de Fixação

Questão 01 – Letra B

Comentário: O período de um pêndulo simples depende exclusivamente do seu comprimento (L) e do módulo da aceleração local da gravidade (g), ou seja: $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$. Veja que o período não depende da massa (m) do pêndulo. Dessa forma, os períodos dos pêndulos 1 e 2 são iguais e diferentes do período do pêndulo 3.

Questão 02 – Letra A

Comentário: O período e a frequência do oscilador massa-mola não dependem da amplitude. Dessa forma, as frequências são iguais nas duas situações ($f_1 = f_2$). A energia mecânica pode ser calculada por $E = (1/2)kA^2$. Logo, a energia no segundo caso é quatro vezes a do primeiro caso ($E_2 = 4E_1$). Assim, a alternativa A é a correta.

Questão 03 – Letra C

Comentário: O gráfico mostra que o período (eixo horizontal) e a amplitude (eixo vertical) são iguais, respectivamente, a T = 4,0 s e A = 20 cm. A frequência angular (ω) é igual a $\omega = 2\pi/T = 2\pi/4 = \pi/2$ rad/s.

Questão 04 – Letra B

Comentário: A questão admite duas soluções e o professor deve mostrar as duas aos seus alunos.

1. A energia mecânica do sistema mostrado é 60 J (em $x = 0 \Rightarrow E_P = 0$ e $E_{MEC} = E_C = 60$ J). A energia potencial do sistema varia com o quadrado da elongação [$E_P = (1/2)k.x^2$] e para $x = \pm 2,0$ m, temos $E_P = 60$ J. Logo, em $x = -1,0$ m, a energia potencial vale $E_P = 15$ J. Portanto, nessa posição, a energia cinética é igual a 45 J ($E_{MEC} = E_C + E_P$).

2. Conforme já mencionado, $E_P = (1/2)k.x^2$ e, para $x = \pm 2,0$ m, $E_{MEC} = E_P = 60$ J. Assim, temos:
   $E_P = (1/2)k.x^2 = 60 \Rightarrow (1/2)k.2^2 = 60 \Rightarrow k = 30$ N/m.
   Em $x = -1,0$ m, $E_P = (1/2)k.x^2 = (1/2)30.(-1,0)^2 = 15$ J.
   $E_{MEC} = E_C + E_P \Rightarrow 60 = E_C + 15 \Rightarrow E_C = 45$ J.

Questão 05 – Letra A

Comentário: O bloco oscila na vertical, em torno da posição de equilíbrio. Como o sistema foi abandonado com a mola sem deformação, a amplitude de oscilação (A) será igual à distância (x) até a posição de equilíbrio (x = A). Nesse ponto, a força resultante é nula, e, assim, a força exercida pela mola (F_M) anula o peso do bloco (P). Dessa forma, temos:

$$P = F_M \Rightarrow mg = kx \Rightarrow m/k = x/g \Rightarrow m/K = A/g$$

O período pode ser calculado por:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \Rightarrow T = 2\pi\sqrt{\frac{A}{g}} \Rightarrow T = 2.3\sqrt{\frac{0,90}{10}} \Rightarrow T = 1,8 \text{ s}$$

Esse resultado é mostrado pela alternativa A.

Exercícios Propostos

Questão 01 – Letra A

Comentário: Pelo gráfico, percebemos que o período (tempo de uma oscilação completa) é 0,8 s. A frequência, sendo o inverso do período, será f = 1,25 Hz, como afirma a alternativa A.

Questão 02 – Letra B

Comentário: O período de oscilação do pêndulo pode ser calculado por $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}} \Rightarrow T = 2.3\sqrt{\frac{0,10}{10}} \Rightarrow T = 0,60$ s.

Logo, a frequência de oscilação será f = 1,67 Hz, resposta corretamente representada pela alternativa B.

Questão 05 – Letra D

Comentário: Como o relógio está adiantando, o seu pêndulo está "andando" muito depressa, ou seja, ele gasta pouco tempo em cada oscilação. Assim, o seu período está menor do que deveria e deve ser aumentado. Uma vez que o período (T) é proporcional à raiz quadrada do comprimento (L), este deve ficar maior. Da discussão anterior, conclui-se que a alternativa correta é a D.

Questão 08 – Letra A

Comentário: Ter a mesma frequência de oscilação significa ter o mesmo período de oscilação. Assim, temos $T_I = T_{II}$. Logo:

$$2\pi\sqrt{\frac{L}{g}} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \qquad \frac{L}{g} = \frac{m}{k} \qquad mg = Lk$$

Esse resultado é encontrado na alternativa A.

Questão 09 – Letra D

Comentário: A energia potencial do sistema (elástica) será máxima na posição de maior elongação da mola, pois $E_{PE} = (1/2)kx^2$, em que k é a constante elástica da mola, e x, a sua deformação em um dado instante. Na referida situação, temos um MHS e, adicionalmente, as distâncias AO e OB são iguais, correspondendo à amplitude de oscilação do movimento. Logo, a alternativa correta é a D.

Questão 10 – Letra A

Comentário: A energia potencial é função quadrática da posição, ou seja, $E = (1/2)kx^2$. Dessa forma, o gráfico da energia potencial (a) deve ser uma parábola com a concavidade virada para cima. Uma vez que o sistema é conservativo (MHS), a energia mecânica (E_{MEC}) é constante. Logo, as energias cinética e potencial são complementares [$E_C = E_{MEC} - (1/2)kx^2$]. Pela equação, percebemos que o gráfico da energia cinética deve ser uma parábola com a concavidade virada para baixo. A resposta correta, portanto, é a alternativa A.

Observação: Professor, mostre que os gráficos são parabólicos, pois as alternativas não o fazem.

Questão 12 – Letra A

Comentário: Se o bloco inicia o movimento em x = –2,0 m, a amplitude de oscilação será A = –2,0 m. Veja, no gráfico, que a energia potencial em x = ±1,0 m vale U = 1,0 J. Tal energia pode ser calculada por $U = (1/2)kx^2$, e, dessa forma, a energia em x = ±2,0 m (extremos da oscilação) será U = 4,0 J, pois $1,0 = (1/2)k.1,0^2 \Rightarrow k = 1,0$ N/m. Nesses pontos, a energia mecânica é apenas potencial e vale, portanto, 4,0 J. Por isso, a alternativa A é a incorreta.

Questão 14 – Letra E

Comentário: O gráfico mostra que a amplitude de oscilação (elongação máxima) é A = 5,0 cm = 0,050 m. Em um dos extremos da oscilação, no instante t = 0,04 s, por exemplo, a força resultante é a força da mola, que é igual a $F_R = kA$. A aceleração pode ser calculada por:

$$a = F_R/m = kA/m = 1,6 \times 10^2.0,050/0,100 = 80 \text{ m/s}^2$$

Esse resultado é corretamente expresso pela alternativa E.

Questão 16 – Letra B

Comentário: A frequência de rotação da peça pode ser calculada por meio da equação da velocidade angular dela (π rad/s).

$$\omega = 2\pi f \Rightarrow \pi = 2\pi f \Rightarrow f = 0,5 \text{ Hz}$$

Veja pela figura que cada rotação da peça (que possui três "dentes") provoca três movimentos de oscilação da haste. Dessa forma, a frequência da extremidade da haste será $f_H = 1,5$ Hz, como aponta a alternativa B.

Seção Enem

Questão 01 – Letra A

Eixo cognitivo: II

Competência de área: 1

Habilidade: 1

Comentário: A gravidade lunar é menor que a da Terra e é a responsável pela aceleração vertical que age sobre o pêndulo. O terceiro gráfico mostra que uma diminuição dessa aceleração aumenta o período. Assim, o relógio gasta mais tempo em cada oscilação e vai, portanto, atrasar. Alterar a massa do pêndulo não altera o período, conforme mostra o primeiro gráfico. Assim, para corrigir o problema, devemos diminuir o período e, para isso, é necessário diminuir o comprimento do cordão, conforme mostra o segundo gráfico.

Questão 02 – Letra E

Eixo cognitivo: II

Competência de área: 1

Habilidade: 1

Comentário: A equação fornecida para o oscilador massa-mola mostra que o período não depende da amplitude. Se o sistema for posto a oscilar com maior amplitude, a distância percorrida pelo corpo e a sua velocidade média aumentam na mesma proporção, de modo a manter constante o tempo gasto em cada oscilação. Levando-se em consideração a analogia apresentada, o período (e a frequência) dos átomos na rede metálica não pode depender da amplitude e permanece, portanto, constante.

MÓDULO – C 08

Introdução à Ondulatória

Exercícios de Fixação

Questão 01 – Letra D

Comentário: Observe que a distância entre a primeira e a segunda cristas geradas pelas gotas (mais externa e intermediária, respectivamente) é o comprimento de onda (λ) e vale 6 cm. Assim, a velocidade de propagação da onda na água é $v = \lambda f = 6.3 = 18$ cm/s. Professor, mostre aos alunos que não se pode medir o comprimento de onda com base na última crista (a mais central), pois não deu tempo, ainda, de essa crista percorrer um comprimento de onda (a quarta gota ainda não caiu).

Questão 02 – Letra B

Comentário: A frequência do movimento é f = 0,5 Hz e, assim, o tempo gasto em um movimento completo (T), durante o qual o animal retoma o movimento inicial, será $T = 1/f = 1/05 = 2,0$ s.

As fotografias mostram a sequência do movimento. Considerando-se a 2ª foto como início da contagem do tempo do movimento, percebe-se que, na 12ª fotografia, o movimento se repete (observe as posições das pernas do cavalo nessas fotos). Durante o movimento completo o cavalo percorre a distância equivalente (d) a 10 fotografias seguidas. Dessa forma, $d = 10.1,5 = 15$ m. A velocidade será $v = d/T = 15/2 = 7,5$ m/s.

Questão 03 – Letra A

Comentário: Da equação geral das ondas temos:

$v = c = \lambda.f \Rightarrow 1/\lambda = f/c$.

De acordo com o enunciado, temos: $d = n.\lambda$, sendo n o número de comprimentos de onda para:

$d = 1,0 \text{ m} \Rightarrow$

$1 = n.\lambda \Rightarrow$

$n = 1/\lambda \Rightarrow n = f/c$.

Questão 04 – Letra D

Comentário: O comprimento de uma onda longitudinal é a distância entre duas compressões, duas rarefações ou a distância entre o início de uma rarefação e o final da próxima região de compressão. Observe que a régua fornece exatamente esta última distância. Logo, $\lambda = 0,5$ m. O gráfico mostra como o deslocamento de um ponto P da mola, em relação à sua posição de equilíbrio, varia com o tempo. Podemos obter o período de oscilação da onda a partir desse gráfico. O período da onda é o intervalo de tempo entre dois instantes de deslocamento positivo máximo; logo, T = 0,2 s. Assim, a alternativa D está correta.

Questão 05 – Letra C

Comentário: O gráfico I mostra a forma da onda e, assim, o comprimento horizontal de uma onda completa corresponde ao comprimento de onda $\lambda = 50$ cm = 0,50 m.

O gráfico II mostra a oscilação de um ponto da corda. Dessa forma, o "comprimento horizontal" de uma oscilação completa nos fornece o período de oscilação dos pontos da corda T = 0,50 s. O período da onda é igual ao período de oscilação dos pontos da corda. Assim, $T_{ONDA} = 0,50 \text{ s} \Rightarrow f_{ONDA} = 2,0$ Hz.

Como $v = \lambda.f \Rightarrow v = 0,50 \times 2,0 = 1,0$ m/s.

Exercícios Propostos

Questão 02 – Letra A

Comentário: A diferença entre as ondas transversal, na corda, e longitudinal, no ar, está na direção de vibração das partículas do meio. Professor, fique atento para o fato de a maioria dos alunos confundir essa definição com a de direção de propagação da onda (alternativa B – que determina o sentido de transmissão da energia da onda). A alternativa correta é a A.

Questão 04 – Letra B

Comentário: Todas as ondas eletromagnéticas propagam-se no vácuo com a mesma velocidade. Assim, o comprimento de onda é inversamente proporcional à frequência de oscilação (dada na figura). Portanto, o comprimento de onda segue a seguinte ordenação: $\lambda_{RX} < \lambda_{IV} < \lambda_{TV}$, como mostrado na alternativa B.

Questão 06 – Letra C

Comentário: Observe, com atenção, que a onda apresenta seis cristas e seis vales. Assim, temos:

$$6\lambda = 30 \text{ cm} \Rightarrow \lambda = 5,0 \text{ cm}$$

Temos seis ciclos completos em 2,0 s. Dessa forma, a frequência da onda é f = 3,0 ciclos/s. Usando $v = \lambda f$, temos:

$$v = 5,0.3,0 = 15 \text{ cm/s}$$

Observação: O aluno pode chegar à resposta começando a solução pelo cálculo da velocidade (v = d/t). A onda caminha 30 cm em 2,0 s. Assim, v = 30/2,0 = 15 cm/s. Com esse resultado, o aluno encontrará os demais.

Questão 07 – Letra E

Comentário: A velocidade de propagação de todas as ondas de rádio é a mesma e é calculada por $v = \lambda f$. Assim, temos:

$V_1 = V_2 \Rightarrow \lambda_{MAIOR}.f_{MENOR} = \lambda_{MENOR}.f_{MAIOR} \Rightarrow$
$\lambda_{MAIOR}.88 = \lambda_{MENOR}.108 \Rightarrow (\lambda_{MAIOR}/\lambda_{MENOR}) = 1{,}23$

Questão 09 – Letra E

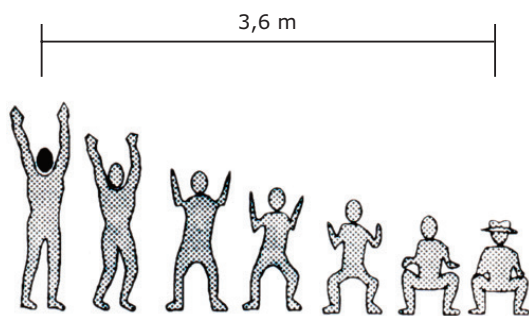
Comentário: Pelo desenho, o aluno pode ser induzido a pensar que o comprimento de onda é 60 cm, o que não é verdade. Na figura, cada segmento horizontal vale 20 cm. Assim, o comprimento de onda é $\lambda = 80$ cm. Como a frequência de oscilação é $f = 10$ Hz, usando a equação da onda, temos que:

$$v = \lambda f \Rightarrow v = 80.10 = 800 \text{ cm/s} = 8{,}0 \text{ m/s}$$

Esse resultado é mostrado na alternativa E.

Questão 11 – Letra B

Comentário: É normal que os alunos resolvam essa questão calculando a frequência e o comprimento de onda, de forma a usar $v = \lambda f$. No entanto, esse procedimento não é necessário.

A distância entre cada espectador é 60 cm. Assim, a figura a seguir mostra que a distância entre aquele que está assentado até o que já está completamente de pé é 360 cm, ou seja, d = 3,6 m. O tempo gasto para se levantar é de 0,60 s. Assim, a velocidade do "pulso de pessoas" pode ser calculada por $v = d/t = 3{,}6/0{,}60 = 6{,}0$ m/s.

Pessoas se levantando

Questão 13 – Letra D

Comentário: Todos os exemplos citados pelo professor são ondas eletromagnéticas. Todos os exemplos citados pelo aluno são partículas (e não ondas). Professor, convém lembrar aos seus alunos que, embora a nomenclatura usada pelo aluno na questão seja usual, melhor seria chamar esses exemplos de partículas alfa e beta e raios catódicos. Portanto, a alternativa D é a correta.

Seção Enem

Questão 01 – Letra B

Eixo cognitivo: II

Competência de área: 1

Habilidade: 1

Comentário: Considerando-se a profundidade constante, a velocidade das ondas na água da piscina não se altera e permanece igual a 1,0 m/s (conforme o enunciado). Como a frequência das gotas e, portanto, das ondas diminui, o comprimento de onda das ondas na água deve aumentar (v = constante $\Rightarrow \lambda \propto 1/f$). Essa última informação, por si só, já é o suficiente para responder a questão.

O professor deve chamar a atenção dos alunos para o fato de que os dados da questão são incoerentes. Se o aluno resolvesse calcular a velocidade da onda com as duas primeiras informações ($f = 2{,}0$ Hz e $\lambda = 0{,}25$ m), ele encontraria: $v = \lambda.f = 0{,}25 \times 2{,}0 = 0{,}5$ m/s. Dessa forma, teríamos comprimento de onda maior que 25 cm e velocidade menor que 1,0 m/s. Essa opção, entretanto, não existe nas alternativas.

O professor encontra outra solução para a mesma questão no *site* do Colégio, na seção "Bernoulli Resolve". Ela é a questão 49 da prova amarela do Enem de 2012.

Questão 02 – Letra B

Eixo cognitivo: II

Competência de área: 1

Habilidade: 1

Comentário: O gráfico da questão mostra o registro de um sismógrafo. Quem chega primeiro ao centro de controle são as ondas p (no instante t = 200 uat) e, assim, elas apresentam a maior velocidade de propagação. As ondas s vão chegar no instante t = 500 uat (considere 1 uat = 1 unidade arbitrária de tempo). A intensidade da onda está associada à energia por unidade de tempo, e essa, por sua vez, está associada à amplitude de oscilação do ponteiro do sismógrafo. Dessa forma, as ondas s apresentam maior intensidade.

Questão 03 – Letra B

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 1

Habilidade: 1

Comentário: Como $\lambda \alpha \sqrt{h} \Rightarrow \lambda/\sqrt{h}$ = constante, $80/\sqrt{1\,600} = \lambda_F/\sqrt{1{,}0} \Rightarrow \lambda_F = 2{,}0$ km.

Como a energia é proporcional a $\lambda.A^2 \Rightarrow \lambda_F.A_F^2 = \lambda.A^2 \Rightarrow$ $2{,}0.\,A^2 = 80.1{,}0 \Rightarrow A_F = \sqrt{40} = 6{,}3$ m.

MÓDULO – D 10

Geradores, receptores e associações

Exercícios de Fixação

Questão 01 – Letra E

Comentário: A corrente no circuito é dada pela seguinte equação:

$$I = \frac{\varepsilon}{R_{ext} + r}$$

Substituindo a força eletromotriz $\varepsilon = 12$ V, a resistência externa $R_{ext} = 8\ \Omega$ e a corrente elétrica I = 1,2 A nessa equação, e explicitando a resistência interna r da bateria, obtemos:

$$1{,}2 = \frac{12}{8 + r} \qquad r = 2\ \Omega$$

Questão 02 – Letra C

Comentário: A equação que fornece a queda de tensão VAB nos terminais A e B de um gerador elétrico (uma bateria automotiva, por exemplo) em função da corrente elétrica I é:

$V_{AB} = \varepsilon - r.I$

ε e r são a f.e.m. e a resistência interna do gerador (constantes).

O gráfico de V_{AB} *versus* I, portanto, é uma reta decrescente, como o gráfico apresentado nesta questão. Nesse gráfico, a ordenada de 12 V do ponto onde a reta corta o eixo da tensão (V_{AB} = 12 e I = 0) representa a f.e.m. ε do gerador. A inclinação do gráfico é o coeficiente angular da reta, isto é, a resistência interna:

$$r = (12 - 4)/16 = 0,5\ \Omega$$

Questão 03 – Letra C

Comentário: Nem toda a potência produzida pelo gerador (ε.I, em que ε é a f.e.m. do gerador, e I é a corrente elétrica gerada) é recebida pelo circuito externo, porque uma parte ($r.I^2$) é dissipada pela resistência interna r do gerador. Assim, a potência útil recebida pelo circuito externo é dada por $P_u = \varepsilon.I - r.I^2$. A substituição nessa equação de pares (P_u, I), obtidos do gráfico do exercício, nos permite construir o seguinte sistema:

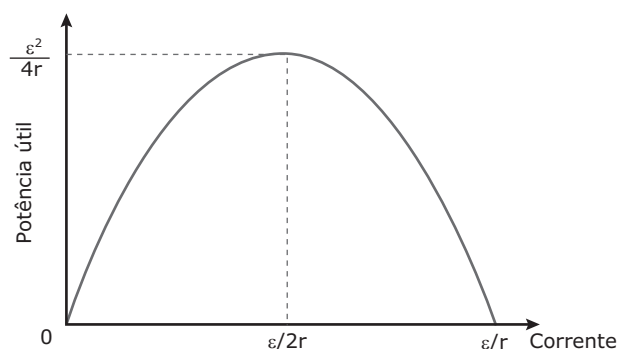
$$25 = \varepsilon.5,0 - r.5,0^2 \quad \text{e} \quad 0 = \varepsilon.10 - r.10^2$$

Resolvendo o sistema, obtemos ε = 10 V e r = 1,0 Ω.

Assim, alternativa correta é a C.

Para um curso mais avançado, você, professor, pode usar esse exercício para explorar um pouco mais a condição em que o gerador opera com a potência útil máxima. As raízes da equação $P_u = \varepsilon I - rI^2$ são 0 e ε/r. A raiz nula é a corrente elétrica com a resistência externa infinita (ou o circuito desligado). A outra raiz é a corrente elétrica de curto-circuito (polos interligados diretamente).

A figura a seguir mostra P_u em função de I, com destaque para as raízes. Por simetria, vemos que a potência máxima ocorre para a corrente ε/2r. Substituindo essa expressão na equação da potência útil, obtemos que a potência útil máxima é $\varepsilon^2/4r$. O denominador da abscissa do vértice da parábola (2r) é a resistência equivalente do circuito. Como as resistências r e R estão associadas em série, concluímos que R = r, e essa é a condição de potência útil máxima. Nesse caso, apesar de a potência ser máxima, o rendimento do gerador é de apenas 50%, dado por:

$$\eta = P_u/(\varepsilon I) = (\varepsilon^2/4r)/[\varepsilon(\varepsilon/2r)] = 1/2$$

Questão 04 – V F V V V

Comentário: (00: V) Os dois geradores estão ligados de forma a gerar, ambos, correntes elétricas no sentido anti-horário. As duas resistências de 1 Ω são as resistências internas dos geradores e a resistência de 10 Ω é a resistência externa do circuito. Assim, a corrente no circuito, lida pelo amperímetro A, é igual a:

$$I = \frac{\Sigma_\varepsilon}{R_{ext} + \Sigma_r} = \frac{12 + 12}{10 + (1 + 1)} = 2A$$

(01: F) A tensão na resistência externa, lida pelo voltímetro V, é igual a:

$$V = R_{ext}.I = 10.2 = 24\ V$$

(02: V) A resistência total do circuito é a soma de todas as resistências, pois todas acham-se ligadas em série:

$$R_{total} = 10 + 1 + 1 = 12\ \Omega$$

(03: V) A potência dissipada na resistência externa é igual a:

$$P_{ext} = R_{ext}.I^2 = 10.2^2 = 40\ W$$

(04: V) O rendimento do gerador é a razão entre a potência nos terminais do gerador e a potência fornecida pelo gerador: $\eta = P_{CB}/P_G$. A 1ª potência é $P_{CB} = V_{CB}$ I, sendo $V_{CB} = \varepsilon - r$ I, e a 2ª é $P_G = \varepsilon$ I. Assim:

$$V_{CB} = \varepsilon - r I = 12 - 1.2 = 10\ V \text{ e}$$
$$PCB = VCB\ I = 10.2 = 20\ W$$
$$P_G = \varepsilon\ I = 12.2 = 24\ W$$

Por fim, $\eta = P_{CB}/P_G = 20/24 = 0,8333$ (83,33%)

Questão 05

Comentário:

A) Quando um voltímetro é conectado aos terminais de uma pilha, ou de uma bateria, a corrente elétrica gerada atravessa a resistência interna do voltímetro. Como essa resistência é muito grande, a corrente no voltímetro (e na pilha) é ínfima, de forma que a queda de tensão na resistência interna da pilha é desprezível. Matematicamente, temos que a tensão V_{AB} entre os terminais da pilha é praticamente igual à própria f.e.m. ε da pilha, já que $V_{AB} = \varepsilon - r.I$, e $r.I \approx 0$, pois $I \approx 0$. Assim, independentemente de a pilha ser nova (nesse caso, a sua resistência r é pequena) ou velha (r é maior), temos $V_{AB} \approx \varepsilon$.

B) A lâmpada utilizada por Nara possui baixa resistência elétrica; sendo assim, agora, a corrente em cada pilha é significativa. A resistência interna dessa pilha velha é grande, e, por isso, a queda de tensão r.I na resistência interna da pilha é apreciável. O resultado é que a tensão disponível para alimentar a lâmpada (dada por $V_{AB} = \varepsilon - r.I$) é bem menor do que ε = 9 volts. Por exemplo, podemos pensar em valores de r e I iguais a 2 Ω e 3 A, de forma que r.I seja igual a 6 V. Assim, teremos ε = 9 − 6 = 3 V, que é uma tensão insuficiente para fazer a lâmpada brilhar com a intensidade esperada. Na pilha nova, apesar de a corrente ser grande, a resistência interna não é. Logo, a queda de tensão na resistência interna da pilha é pequena, e a tensão entre os terminais desta é próxima a 9 volts. Por exemplo, os valores de r e I podem ser iguais a 0,2 Ω e 5 A, de forma que r.I seja de 1 V. Assim, teremos ε = 9 − 1 = 8 V. Essa tensão é suficiente para fazer a lâmpada brilhar com boa intensidade.

Exercícios Propostos

Questão 03 – Letra B

Comentário: Na montagem mostrada na figura 1, o voltímetro foi ligado em série com a lâmpada e com o amperímetro. Com a resistência interna do voltímetro é infinita (voltímetro ideal), a corrente tenderá a zero, de forma que a lâmpada não irá se acender.

Na montagem mostrada na figura 3, o voltímetro foi ligado em série com a lâmpada, de forma que a corrente da lâmpada será zero. Na montagem da figura 1, agora o amperímetro, cuja resistência é zero, está ligado diretamente nos terminais da pilha. Assim, a corrente no amperímetro tenderá para infinito, queimando o aparelho.

A montagem mostrada na figura 2 está correta, pois o voltímetro se acha ligado em paralelo entre os terminais da pilha, enquanto o amperímetro se acha ligado em série com a lâmpada. O voltímetro está medindo a d.d.p. entre os terminais da pilha, que também é igual à tensão na lâmpada. O amperímetro está medindo a corrente gerada pela pilha e que está passando pelo amperímetro e pela lâmpada. O desvio de corrente da pilha para o voltímetro é quase zero, pois o voltímetro ideal tem resistência tendendo para infinito. Para a lâmpada funcionando em suas condições nominais, a corrente vale:

$$P = V.I \Rightarrow 1,0 = 9,0.I \Rightarrow I = (1,0/9,0)\ A$$

Então, a f.e.m. ε da pilha deverá ser igual a:

$$V = \varepsilon - r.I \quad 9,0 = \varepsilon - 4,5.(1,0/9,0) \Rightarrow \varepsilon = 9,5\ V$$

Questão 04 – Letra E

Comentário: Esse exercício aborda o funcionamento de uma pilha e faz algumas afirmações em relação ao seu uso. Vamos analisar cada uma das afirmações separadamente.

A) A corrente de curto-circuito (I_{cc}) ocorre quando os polos da pilha são ligados um ao outro por meio de um fio de resistência desprezível, de forma que a única resistência é a resistência interna da bateria (r). Assim, na expressão $I = \varepsilon/(R + r)$, para calcular I_{cc}, devemos fazer R = 0. Fazendo isso, obtemos $I_{cc} = 6,0/0,20 = 30$ A, e não 1,2 A, como citado.

B) Quando o circuito está aberto, a tensão entre os terminais da pilha é a própria f.e.m. da pilha (ε). Assim, nesse caso, temos $U = \varepsilon = 6,0$ V, e não 2,0 V, como citado.

C) A tensão entre os terminais da pilha pode ser calculada por $U = \varepsilon - rI$. Fazendo I = 10 A, obtemos U = 6,0 – 0,20.10 = 4,0 V, e não 2,0 V, como citado.

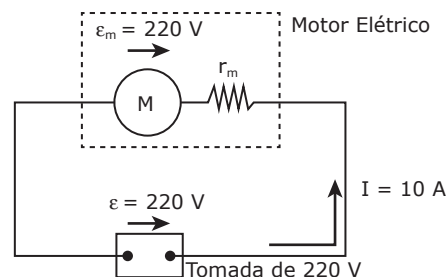
D) Fazendo I = 25 A, obtemos U = 6,0 – 0,20.25 = 1,0 V, e não 5,0 V, como citado.

E) Como explicado anteriormente, as afirmativas apresentadas nas outras alternativas são incorretas.

Questão 05 – Letra A

Comentário: A leitura em circuito aberto (veja a explicação do Exercício de fixação 01) fornece a f.e.m. ε da pilha, que, nesse caso, é dada por $\varepsilon = V_{AB}$ (leitura do voltímetro). Portanto, nessa questão, $\varepsilon = 1,5$ V. Quando a pilha é ligada em uma carga, como a de uma resistência elétrica externa R, a tensão entre os terminais da pilha cai para $V_{AB} = 1,2$ V. Isso quer dizer que, da potência fornecida pela pilha (valor dado por $P_{pilha} = \varepsilon.I$), apenas 80% são disponibilizados para a parte externa do circuito (valor dado por $P_{ext} = V_{AB}.I$), uma vez que $V_{AB} = 1,2$ V é 80% de $\varepsilon = 1,5$ V. Portanto, 20% da energia é dissipada no interior da pilha. O valor da energia dissipada poderia ser obtido diretamente por meio da equação que fornece a potência dissipada na resistência interna da pilha (valor dado por $P_r = V_r.I$, em que V_r é a queda de potencial na resistência interna da pilha). Como $V_{AB} = 1,2$ V, V_r vale 0,3 V, que é 20% da f.e.m. ε. Portanto, P_r é 20% de P_{pilha}.
Esse resultado está expresso na alternativa A.

Questão 08 – Letra B

Comentário: A figura a seguir representa o circuito elétrico deste problema:

A potência fornecida pela tomada é $P = \varepsilon.I = 220.10 = 2200$ W. Como a potência útil do motor é Pm = 2000 W, concluímos que o rendimento do motor é $\eta = P_m/P = 2000/2200 = 0,909$ (90,9%). A resistência interna do motor consome os 200 W restantes da potência fornecida pela tomada. Portanto:

$$200 = r_m.I^2 \Rightarrow 200 = r_m.10^2 \Rightarrow r_m = 2\ \Omega$$

Finalmente, para obter a força contraeletromotiz εm do motor, podemos usar a potência útil do motor:

$$P_m = \varepsilon_m.I \Rightarrow 2000 = \varepsilon_m.10 \Rightarrow \varepsilon_m = 200\ V$$

Questão 09 – Soma = 22

Comentário:

01. (F) e 02. (V) As fontes 1 e 2 são as fontes de força eletromotriz ε_1 e ε_2, respectivamente. Elas estão ligadas em série, com os polos negativos interligados. Por isso, uma das fontes age como geradora, e a outra, como receptora de energia elétrica. Como $\varepsilon_2 > \varepsilon_1$, a fonte 2 é a geradora, e a fonte 1 é a consumidora. Por isso, a tensão entre os terminais da fonte 1 é $V_{CB} = \varepsilon_1 + r_1.I$, enquanto a tensão entre os terminais da fonte 2 é $V_{AB} = \varepsilon_2 - r_2.I$, em que r_1 e r_2 são as resistências internas das fontes 1 e 2, respectivamente, e I é a corrente elétrica que atravessa as fontes. Concluímos, portanto, que a afirmativa 01 é falsa e que a afirmativa 02 é verdadeira.

04. (V) Como não há resistência elétrica entre os pontos D e F, também não há queda de potencial elétrico entre esses pontos. Assim, $V_D = V_F$. Por isso, $V_{DE} = V_{FE}$.

08. (F) O amperímetro A mede a corrente elétrica I que atravessa as fontes. Essa corrente depende não apenas das fontes, como também das resistências do circuito externo. Por isso, a corrente I muda de valor quando o interruptor I_2 passa da posição fechado para aberto. Com o interruptor I_2 fechado, a resistência equivalente no ramo direito do circuito vale 3 Ω, e a do circuito total vale $R_{ext} = 6\ \Omega$. A corrente I é:

    $I = (\varepsilon_2 - \varepsilon_1)/(R_{ext} + r_1 + r_2) \Rightarrow$
    $I = (5 - 2)/(6 + 2 + 1) = 0,33$ A

    Com o interruptor I_2 aberto, o ramo direito do circuito não é percorrido por corrente, de forma que a resistência equivalente do circuito externo é representada apenas pela soma das resistências R_1 e R. Assim, temos $R_{ext} = R_1 + R = 12\ \Omega$, e a corrente I, nessas circunstâncias, vale:

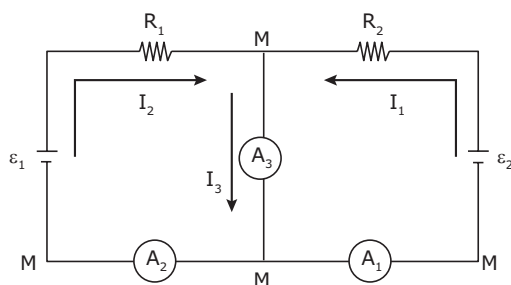
    $I = (\varepsilon_2 - \varepsilon_1)/(R_{ext} + r_1 + r_2) \Rightarrow$
    $I = (5 - 2)/(12 + 2 + 1) = 0,2$ A

16. (V) Com o interruptor I_1 aberto, não há corrente no circuito. Por isso, não há queda de tensão nas resistências internas das fontes. Portanto, ambas terão as forças eletromotrizes iguais às tensões entre os seus terminais.

Questão 10 – Letra C

Comentário: Como a fonte deve alimentar o aparelho com uma tensão de 6,0 V, são necessárias quatro pilhas de 1,5 V associadas em série. Essa é a 1ª montagem da letra C. A 2ª montagem mostra dois conjuntos de quatro pilhas associadas em série, que estão ligados entre si em paralelo. A ligação em paralelo não altera a tensão, de forma que a tensão de 6,0 V de cada conjunto é igual à tensão do sistema. A vantagem dessa montagem em relação à 1ª é que, nessa montagem, a duração da fonte é maior.

Questão 11 – Letra C

Comentário: A figura mostra as correntes I_1, I_2 e I_3 que desejamos calcular. Os sentidos das correntes elétricas foram escolhidos levando-se em conta as polaridades das fontes de força eletromotriz e, também, o fato de que em todas as opções de resposta, à exceção da letra D, temos $I_3 = I_1 + I_2$.

Observe os quatro pontos M entre os terminais dos amperímetros. Sendo instrumentos ideais, esses amperímetros têm resistências internas nulas, de forma que os potenciais elétricos desses quatro pontos são iguais (por isso, os quatro pontos foram denominados pela mesma letra). Vamos mostrar que apenas as correntes I_1 = 6 mA, I_2 = 6 mA e I_3 = 12 mA satisfazem a condição de igualdade dos potenciais elétricos nos quatro pontos. Primeiramente, vamos considerar que o potencial V_M seja igual a zero (essa é uma escolha arbitrária). Considere o ponto M que está ligado ao polo negativo da fonte de f.e.m. ε_1 = 6 V. Nesse caso, quando a corrente I_2 atravessa essa fonte, o potencial elétrico aumenta de zero para 6 V. Em seguida, a corrente elétrica I_1 percorre a resistência R_1, de forma que há uma queda no potencial elétrico, cujo valor é $V_1 = R_1.I_1$ = 1 000.0,006 = 6 V. Portanto, o potencial de 6 V, à esquerda de R_1, cai para zero à direita de R_1, que é exatamente o potencial que havíamos arbitrado para o ponto M. Note que o mesmo ocorre quando percorremos o circuito saindo do ponto M ligado ao polo negativo da fonte de f.e.m. ε_2 = 12 V. Fazendo isso, atravessamos a fonte, a resistência R_2, e chegamos ao ponto M central. Inicialmente, o potencial elétrico aumenta de zero para 12 V, que é o valor de ε_2. Em seguida, ocorre a queda de potencial de 12 V na resistência R_2, dada por V_2 = 2 000.0,006 = 12 V. É pertinente mostrar que outras combinações de correntes não levam à constância do potencial V_M. Por exemplo, na opção A, como I_1 = 1 mA, a queda de potencial em R_1 é de apenas 1 V ($V_1 = R_1.I_1$ = 1 000.0,001 = 1 V). Assim, o potencial de 6 V à esquerda da resistência passaria a ser de 5 V à direita, e não zero, como esperado. Com base na discussão anterior, conclui-se que a alternativa correta é a C.

Questão 12 – Letra D

Comentário:

A) A corrente elétrica de curto-circuito ocorre quando os terminais do gerador são ligados diretamente por um cabo condutor. Nesse caso, a resistência externa é nula e a corrente é dada por:

$$I = \frac{\varepsilon}{R_{ext} + r} = \frac{40,0}{0 + 5,0} = 8,0\,A$$

B) Um voltímetro ideal ligado entre os terminais do gerador irá registras a força eletromotriz ε = 40,0 V do gerador.

C) A diferença de potencial entre os terminais A e B do gerador para uma corrente I = 2,0 A é:

$$U = \varepsilon - r.I = 40,0 - 5,0.2,0 = 30,0\text{ V}$$

D) A corrente do gerador para uma tensão entre os terminais U = 12,0 V é:

$$U = \varepsilon - r.I \Rightarrow 12,0 = 40,0 - 5,0.I \Rightarrow I = 5,6\text{ A}$$

E) A d.d.p. entre os terminais A e B do gerador para uma corrente I = 3,0 A é:

$$U = \varepsilon - r.I = 40,0 - 5,0.3,0 = 25,0\text{ V}$$

Portanto, a potência consumida na parte externa do circuito é:

$$P_{ext} = U.I = 25,0.3,0 = 75\text{ W}$$

Como a potência fornecida pelo gerador é P = ε I = 40,0.3,0 = 120 W, o rendimento do gerador é:

$$\eta = \frac{P_{ext}}{P} = \frac{75}{120} = 0,625\,(62,5\%)$$

Questão 15 – Letra B

Comentário: Por simetria, notamos que a resistência R, percorrida pela suposta corrente elétrica i_1, acha-se ligada entre pontos de potenciais elétricos idênticos, fixados pelos dois terminais positivos das pilhas inferiores e dos dois terminais negativos das pilhas superiores. Por isso, a corrente elétrica i_1 vale zero. Outra conclusão que tiramos a partir dessa situação é que as duas pilhas à esquerda estão associadas em série, gerando uma d.d.p. resultante de 2 V. As duas pilhas à direita também estão em série e apresentam uma d.d.p. resultante de 2 V. Essas duas associações, por sua vez, estão ligadas em paralelo, de forma que a d.d.p. total da associação das quatro pilhas vale 2 V. Assim, a corrente elétrica i_2, gerada pela associação das quatro pilhas, é igual a 2V/R. Esses resultados estão corretamente expressos na alternativa B.

Questão 16 – Soma = 70

Comentário: Vamos analisar cada alternativa separadamente.

01. (F) A corrente elétrica tem o sentido da polaridade da bateria de maior f.e.m. Por isso, a corrente é no sentido horário.

02. (V) I = (12 – 8)/(2 + 1 + 1) = 1 A.

04. (V) Considerando a bateria que opera como gerador, temos:

$$V = 12 - 1.1 = 11\text{ V}$$

08. (F) V_{ab} = 2.1 = 2 V e P = $(V_{ab})^2/R = 2^2/3$ = 1,33 W.

16. (F) Na bateria que opera como receptor, temos:

$$P_{arm} = \varepsilon I = 8.1 = 8\text{ W e } P_{for} = V.I = 9.1 = 9\text{ W}$$

32. (F) Na bateria que opera como gerador, temos:

$$P = \varepsilon I = 12.1 = 12\text{ W}$$

Logo, E = 12.(10.60) = 7 200 J. Porém, nem toda essa energia é tirada da bateria, pois uma parte E' fica perdida dentro da bateria devido ao efeito Joule na resistência interna. E' = $rI^2.\Delta t = 1.1^2.(10.60)$ = 600 J. Assim, a energia tirada (aproveitada) da bateria é 6 600 J.

64. (V) V_{CD} = RI = 0.1 = 0.

Questão 17

Comentário:

A) A corrente elétrica atravessa as baterias de A para B. Esse sentido é imposto pela bateria superior, de f.e.m. igual a 24 V, que funciona como geradora de energia elétrica, enquanto a outra bateria, de 6 V, funciona como receptora. Assim, podemos calcular as tensões nas duas baterias por meio das seguintes equações:

$$V_{CA} = \varepsilon_S - V_I = 24 - 1.I \quad e \quad V_{CB} = \varepsilon_I + r.I = 6 + 2.I$$

Em que ε_S é a f.e.m. da bateria superior, ε_I é a f.e.m. da bateria inferior, e V_C é o potencial elétrico comum aos polos positivos das duas baterias. Observe que $\varepsilon_S > V_{CA}$, pois a bateria superior funciona como geradora, enquanto $\varepsilon_I < V_{CB}$, pois a bateria inferior funciona como consumidora. Subtraindo membro a membro essas equações, cancelamos V_C e obtemos:

$$V_B - V_A = V_{BA} = 18 - 3.I$$

A d.d.p. V_{BA} é dada pelo registro do voltímetro, que também indica as tensões na resistência R_x e na resistência R = 24 Ω. Assim, V_{BA} = 12 V. Substituindo esse valor na equação anterior, obtemos o valor da corrente I que atravessa as baterias:

$$12 = 18 - 3.I \Rightarrow I = 2{,}0\ A$$

B) A corrente na resistência R é dada por:

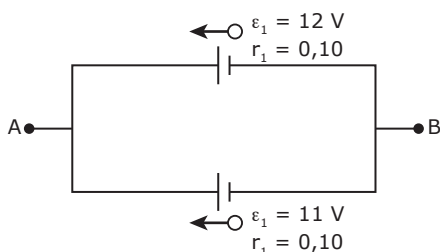
$$I_R = V_{BA}/R = 12/24 = 0{,}50\ A$$

C) A corrente I_X, que atravessa a resistência R_X, é dada por:

$$I_X = I - I_R = 2 - 0{,}5 = 1{,}5\ A$$

Assim, podemos calcular o valor da resistência R_X por meio da relação $R_X = V_{BA}/I_R$. Logo, $R_X = 12/1{,}5 \Rightarrow R_X = 8{,}0\ \Omega$.

Questão 18

Comentário: O esquema do circuito montado pelo estudante é o seguinte:

A) A 1ª bateria é um gerador e a 2ª um consumidor, pois $\varepsilon_1 > \varepsilon_2$. A resistência externa do circuito é zero, de modo que a resistência do circuito se deve apenas às resistências internas $r_1 = r_2 = 0{,}10\ \Omega$ das baterias. Assim, a corrente elétrica no circuito é:

$$I = \frac{\sum_\varepsilon}{R_{ext} + \sum r} = \frac{12 - 11}{0 + (0{,}10 + 0{,}10)} = 5{,}0\ A$$

B) A diferença de potencial entre os pontos A e B é a diferença de potencial tanto entre os terminais da 1ª bateria. Como essa bateria é um gerador de eletricidade, a diferença de potencial entre seus terminais é dada por:

$$V_{AB} = \varepsilon_1 - r_1.I \Rightarrow V_{AB} = 12 - 0{,}10.5{,}0 = 11{,}5\ V$$

A diferença de potencial VAB também pode ser calculada por meio da 2ª bateria, pois VAB também é a diferença de potencial entre os terminais da 2ª bateria. Como essa bateria é um consumidor de eletricidade, a diferença de potencial entre os terminais dessa bateria é dada por:

$$VAB = \varepsilon_2 + r_2.I \Rightarrow V_{AB} = 11 + 0{,}10.5{,}0 = 11{,}5\ V$$

Como esperado, esse é o mesmo valor encontrado na 1ª solução.

Seção Enem

Questão 01 – Letra D

Eixo cognitivo: II

Competência de área: 2

Habilidade: 5

Comentário: Para que a lâmpada possa funcionar, deve haver uma d.d.p. entre seus terminais que, na lâmpada mostrada na figura a seguir, são: a rosca (B) e o centro da parte central do pé (A), conforme mostra a primeira figura a seguir:

Logo, os terminais positivo (I) e negativo (II) da pilha, mostrados na figura anterior, devem ser conectados aos terminais A ou B da lâmpada. Os circuitos que mostram a conexão correta estão nas ligações 1, 3 e 7.

Questão 02 – Letra D

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 2

Habilidade: 5

Comentário: Quando os polos de sinais opostos das baterias são conectados, as suas forças eletromotrizes se somam. Como a resistência equivalente do circuito é muito pequena (imposta apenas pelas resistências internas das baterias), a corrente elétrica gerada pode atingir valores imensos. Por exemplo, para duas baterias com forças eletromotrizes iguais a ε = 12 V e resistências internas iguais a r = 0,5 Ω (valores típicos de baterias automotivas), a corrente gerada é $I = 2\varepsilon/2r = 2.12/2.0{,}5 = 24$ A. Essa corrente é tão alta que pode gerar um grande aumento de temperatura e de pressão interna na bateria, podendo causar a explosão das baterias, e, consequentemente, o espalhamento de ácido em todas as direções.

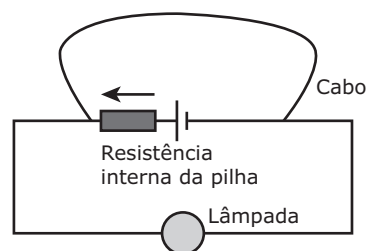
Questão 03 – Letra D

Eixo cognitivo: II

Competência de área: 6

Habilidade: 21

Comentário: Quando as pontas do cabo tocam os polos da pilha, a lâmpada e o cabo ficam ligados em paralelo, ambos alimentados pela pilha. A figura a seguir ilustra esquematicamente o circuito elétrico. Como a resistência do cabo é desprezível, a resistência equivalente entre o cabo e a lâmpada é praticamente zero, e a resistência equivalente do circuito é a própria resistência interna da pilha. Essa resistência é muito menor do que a da lâmpada. Por isso, há um grande aumento no valor da corrente elétrica gerada pela pilha (antes, essa corrente era limitada pela resistência da lâmpada). Apesar do aumento da corrente, a lâmpada apaga, pois toda a corrente que sai da pilha é desviada para o cabo, devido ao fato de sua resistência ser praticamente zero.

MÓDULO – D 11

Capacitores

Exercícios de Fixação

Questão 01 – Soma = 22

Comentário:

01. (F) O campo elétrico E entre as placas de um capacitor depende da densidade superficial de carga ($\sigma = q/A$) e do dielétrico entre as placas, mas não da distância entre as placas do capacitor. Para um capacitor isolado, a carga q é constante. Por isso, o campo elétrico entre as placas não se altera quando a distância entre as placas é alterada. Outra maneira de mostrar a constância de E é observando que C é inversamente proporcional à distância d entre as placas ($C = \varepsilon A/d$). Por exemplo, se d dobrar, C cai para a metade. A capacitância também é dada por C = q/V (razão entre a carga e a d.d.p. V entre as placas). Como q é constante, C é inversamente proporcional a V. Quando C cai para a metade, V dobra de valor. Como o campo entre as placas também é dado por E = V/d, é fácil ver que, dobrando a distância d, a d.d.p. V também dobra. Portanto, E permanece constante.

02. (V) Conforme explicado em 01, quando a carga de um capacitor é aumentada, a densidade superficial de carga aumenta. Consequentemente, o campo elétrico entre as placas também aumenta. Para certo valor do campo, a rigidez do dielétrico do meio entre as placas pode ser rompida, causando a descarga do capacitor.

04. (V) Conforme explicado em 01, quando a distância entre as armaduras de um capacitor isolado (carga q constante) é aumentada, a d.d.p. V entre as placas também aumenta. Portanto, a energia potencial elétrica, que é dada por $E_{pe} = V.q/2$, também aumenta. O aumento dessa energia provém do trabalho realizado para separar as placas.

08. (F) Capacitores ligados em série armazenam cargas de intensidades iguais. Como q é constante, a diferença de potencial elétrico (tensão elétrica) de cada capacitor (V = q/C) é inversamente proporcional à capacitância. Por exemplo, se certo capacitor da associação tiver a metade da capacitância de outro capacitor, a d.d.p. daquele será o dobro deste.

16. (V) Conforme citado em 01, a capacitância C de um capacitor é o quociente entre a carga q e a d.d.p. no capacitor.

Questão 02 – Letra A

Comentário: Quando um dielétrico é introduzido entre as placas de um capacitor, a capacitância do capacitor é aumentada. Estando ligado a uma fonte de tensão, o capacitor, agora com maior capacidade para armazenar carga elétrica, recebe uma carga suplementar da fonte. O resultado é que a carga no capacitor aumenta. Note que a d.d.p. no capacitor permanece a mesma, pois essa d.d.p. é imposta pela fonte de tensão. A constância da d.d.p. faz sentido se pensarmos na equação V = q/C. A carga q aumenta proporcionalmente ao aumento da capacitância C. Por isso, a razão V = q/C permanece constante. O campo elétrico E entre as placas do capacitor não se altera, pois, de acordo com a equação E = V/d, nem a d.d.p., nem a distância entre as placas foram alteradas. Outra maneira de explicar porque o campo não sofreu alteração é a seguinte. O aumento de carga no capacitor implica um aumento na densidade superficial de carga, que, por sua vez, deveria causar um aumento no campo elétrico do capacitor. Porém, o dielétrico introduzido entre as placas se polariza, gerando um campo elétrico de sentido oposto. Esse campo oposto do dielétrico compensa o aumento no campo das placas. O efeito final é que o campo total não se altera.

Sobre a energia do capacitor, como V permanece constante, mas q aumenta, a energia potencial elétrica do capacitor, dada por $E_{pe} = qV/2$, aumenta de valor. A energia também é dada por $E_{pe} = CV^2/2$. Por essa equação, vemos que E_{pe} aumenta, pois V é constante e C aumenta.

Questão 03 – Letra E

Comentário: Assim que a chave ch é fechada, o voltímetro passa a ter os seus terminais ligados entre os polos da pilha de 1,5 V. Há uma resistência interna r na pilha, que admitiremos ser muito pequena. Nesse caso, assim que a chave é fechada, o voltímetro registra 1,5 V. Nesse momento, o amperímetro registra uma corrente máxima dada por $I_{Máx} = 1{,}5/r$ (o valor da corrente máxima, $I_{máx}$, é muito alto, pois a resistência interna da pilha, r, é muito pequena). À medida que o capacitor se carrega, aparece uma d.d.p. crescente entre as suas armaduras. Essa tensão se opõe à tensão da bateria, de maneira que a intensidade da corrente diminui com o passar do tempo, anulando-se quando a d.d.p. no capacitor se torna igual a 1,5 V. Nesse instante, a carga no capacitor atinge o valor máximo.

Questão 04 – Letra D

Comentário: O valor da energia é igual ao valor da área sob a reta do gráfico, logo:

$$E = QV/2 = 20.100/2 = 1{,}0 \times 10^3\ \mu J = 1{,}0 \times 10^{-3}\ J$$

A capacitância do capacitor pode ser calculada a partir da inclinação do gráfico, logo:

$$C = Q/V = 100/20 = 5\ \mu F$$

Portanto, a alternativa correta é a D.

Questão 05 – Letra C

Comentário: A carga Q_1 no capacitor de capacitância $C_1 = 6\ \mu F$ pode ser calculada diretamente por $Q_1 = C_1V$, pois esse capacitor está ligado diretamente na bateria de f.e.m. V = 12 V. Substituindo os valores, achamos $Q_1 = 72\ \mu C$. As cargas Q_2 e Q_3 nos outros capacitores são iguais, pois esses estão associados em série. Além disso, Q_2 e Q_3 também são iguais à carga no capacitor equivalente nesse trecho. Essa capacitância é $C_{23} = C_1.C_2/(C_1 + C_2) = 36/12 = 3\ \mu F$. Como esse capacitor equivalente está ligado na bateria, a carga nele é $Q_2 = Q_3 = Q_{23} = C_{23}.V = 3.12 = 36\ \mu C$. A questão está concluída, mas vale a pena calcular a capacitância equivalente C_{eq} do circuito e a carga Q correspondente para verificar se as cargas estão corretas. Para achar Ceq, basta somar C_{23} com C_1, pois os capacitores estão associados em paralelo. Assim, $C_{eq} = 9\ \mu F$. Para calcular Q, basta usar a equação $Q = C_{eq}.V = 9.12 = 108\ \mu C$. Professor, chame a atenção dos alunos para o fato de que essa carga não é a soma das cargas armazenadas no capacitores da associação, mas sim a soma das cargas nos capacitores C_1 e C_{23}: $Q_1 + Q_{23} = 72 + 36 = 108\ \mu C$. Compare a repartição de cargas desta questão com a divisão da corrente elétrica caso tivéssemos resistores de resistências R_1, R_2 e R_3 nos lugares dos capacitores C_1, C_2 e C_3. Nesse caso, a corrente total que sai da bateria é a soma da corrente em R_1 com a corrente em R_{23} (o resistor equivalente entre R_2 e R_3).

Exercícios Propostos

Questão 01 – Letra B

Comentário: A energia potencial elétrica armazenada no capacitor pode ser calculada por $E_{pe} = C.V^2/2 = 10^{-4}.60^2/2 = 0{,}18$ J. Professor, calcule também a carga armazenada pelo capacitor: $Q = C.V = 10^{-4}.60 = 0{,}006$ C = 6 mC. Essa é uma carga muito grande, muito maior que as cargas de algumas dezenas de microcoulombs armazenadas em capacitores comuns ou em bolinhas e pentes eletrizados por atrito. Um capacitor eletrolítico é um tipo especial de capacitor, capaz de armazenas cargas significativas.

Questão 02 – Soma = 29

Comentário:

01. (V) As cargas em todas as placas são iguais porque os dois capacitores estão em associados em série.

02. (F) Como a carga q é a mesma nos dois capacitores, a diferença de potencial elétrico V (tensão) é maior no capacitor de menor capacitância C, uma vez que V = q/C.

03. (V) A capacitância no capacitor a vácuo é $C_{vácuo} = \varepsilon A/d$ (A é a área das placas, d é a distância entre as placas e ε é a permissividade elétrica do vácuo). A capacitância do capacitor com o dielétrico é $C_{diel} = K.(\varepsilon A/d) = K.C_{vácuo}$. Sendo a constante dielétrica K > 1, concluímos que $C_{diel} > C_{vácuo}$.

04. (V) Conforme explicado em 03, K indica quantas vezes C_{diel} é maior do que $C_{vácuo}$.

16. (V) Como a carga é dada por q = C.V e como as cargas nos dois capacitores são iguais, podemos escrever:

$$q = \frac{\varepsilon A}{d}V_1 = K\frac{\varepsilon A}{d}V_2 \qquad V_2 = \frac{1}{K}V_1$$

1/K é um valor decimal, pois K é maior que 1. Portanto, a d.d.p. V_2 no capacitor com o dielétrico é menor de um fator 1/K do que a d.d.p. V_1 no capacitor a vácuo. Como a energia em cada capacitor é $E_{pe} = q.V/2$ e o campo elétrico entre as placas é E = V/d, concluímos que a energia e o campo no capacitor com o dielétrico são menores de um fator 1/K do que no capacitor a vácuo.

Questão 03 – Letra C

Comentário:

I. A capacitância C de um capacitor de placas paralelas é dada por $C = \varepsilon A/d$, em que A é a área de cada placa, d é distância entre elas e o parâmetro ε é a permissividade elétrica do meio entre as placas. Como a densidade do novo líquido é maior, o cubo de madeira passa a flutuar com um volume submerso menor, implicando uma diminuição na distância d. Como o produto εA permanece constante, temos que C é inversamente proporcional a d; logo, a capacitância C aumenta.

II. A tensão entre as placas do capacitor é dada por V = Q/C. Nessa situação, o capacitor está isolado, pois ele não está ligado a fontes de tensão, como uma bateria. Por isso, a carga Q das placas não varia. Logo, V e C são grandezas inversamente proporcionais. Como C aumenta, concluímos que V diminui.

III. Para analisar a energia no capacitor, podemos usar três equações: $E = QV/2 = CV^2/2 = Q^2/(2C)$. A última é a mais adequada, pois, como comentado anteriormente, Q é constante. Assim, E é inversamente proporcional a C. Como C aumenta com a diminuição da distância d, concluímos que E diminui. Podemos ainda resolver o problema usando a conservação da energia. Como o bloco de madeira se eleva, a sua energia potencial gravitacional aumenta. Esse aumento de energia potencial gravitacional é compensado pela diminuição da energia armazenada no capacitor, de forma que a energia total se mantém constante.

Da discussão anterior, conclui-se que a alternativa correta é a C.

Questão 04 – Letra A

Comentário: Primeiramente, vamos demonstrar a equação $E = Q/(\varepsilon A)$, na qual E é o campo elétrico entre as placas do capacitor, Q é a carga das placas, ε é a permissividade elétrica do meio entre as placas e A é a área de cada placa.

A capacitância de um capacitor plano é dada por $C = \varepsilon A/d$, em que d é distância entre as placas e os outros termos são os mesmos que definimos anteriormente. Por outro lado, a definição de capacitância é C = Q/V, para a qual V é a tensão no capacitor e Q é a carga de uma das placas do capacitor, já definida anteriormente. Igualando essas equações, obtemos $V/d = Q/(\varepsilon A)$. Por fim, o campo elétrico é dado por E = V/d (Professor, chame a atenção dos alunos para que eles não confundam o campo elétrico com a energia do capacitor, cujo símbolo também é a letra E). Então, $E = Q/(\varepsilon A)$, como queríamos demonstrar.

Substituindo $E = 30\ kV/cm = 30 \times 10^5\ V/m$, $\varepsilon = 8,85 \times 10^{-12}\ C^2/Nm^2$ e $A = 100\ cm^2 = 100 \times 10^{-4}\ m^2$ na equação anterior, obtemos o seguinte valor para a carga máxima do capacitor:

$$Q_{máx} = 2,66 \times 10^{-7}\ C = 2,7 \times 10^{-7}\ C$$

Questão 05 – Letra C

Comentário: A capacitância C do capacitor permanece constante durante a descarga deste, pois não há modificação em sua geometria e nem do seu meio dielétrico. No instante t = 0, como a d.d.p. no capacitor vale V_0 = 12 volts, a carga inicial é Q_0 = 12C. No instante t_1, podemos observar, a partir do gráfico de questão, que a carga do capacitor é $3Q_0/8$. Esse valor é o produto da capacitância C ($Q_0/12$) pela tensão V no instante t_1. Assim, temos que $3Q_0/8 = (Q_0/12)V$. Simplificando, obtemos V = 4,5 V.

Uma forma mais rápida de fazer esse exercício (e mais adequada para uma prova de múltipla escolha) é simplesmente perceber que, sendo V = Q/C e sendo C constante, a tensão V é diretamente proporcional à carga Q. Como esta diminui para 3/8 de seu valor inicial, concluímos que a d.d.p. também diminui desse mesmo fator.

Questão 08 – Letra A

Comentário: Vamos desprezar a resistência desse circuito. Assim, a energia total no circuito é a soma da energia armazenada no capacitor e da energia armazenada na bobina. Essa última se manifesta apenas quando é percorrida por uma corrente elétrica. Assim, com a chave aberta, não há corrente, e a energia do sistema é igual à energia armazenada no capacitor, $E_0 = Q^2/2C$. Algum tempo depois de a chave ser fechada, a energia no capacitor diminui para a metade do valor inicial ($E_0/2 = Q^2/4C$). Nesse instante, a energia armazenada na bobina é exatamente igual à energia armazenada no capacitor ($E_0/2$), de forma que a energia total é conservada. Para isso ocorrer, a carga do capacitor deve ser dividida por $\sqrt{2}$, pois, elevando $Q/(\sqrt{2})$ ao quadrado, obtemos $Q^2/2$. O denominador 2 que aparece aqui é multiplicado pelo denominador 2 da equação da energia do capacitor. Assim, um denominador igual a 4 aparece na expressão da energia.

Questão 09 – Letra C

Comentário: A carga total é a carga armazenada no capacitor equivalente. Por inspeção, os capacitores C_1 e C_2 estão em série, de modo que o capacitor equivalente nesse trecho é $C' = C_1.C_2/(C_1 + C_2) = 2.4/(2+ 4) = 4/3$ pF. Por sua vez, C' está em paralelo com C_3, de modo que o capacitor equivalente do circuito é $C_{eq} = C_3 + C' = 3 + 4/3 = 13/3$ pF. A carga total é dada por $q = C_{eq}.V$, sendo V a voltagem da bateria. Assim, $q = (13/3).10 = 43,3$ pC.

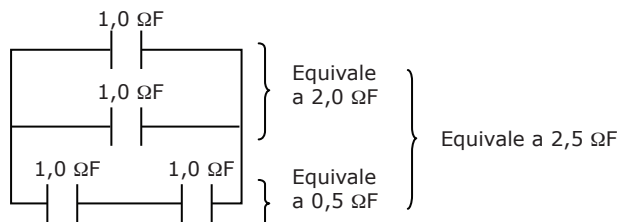
Questão 10 – Letra B

Comentário: A introdução da chapa no meio das armaduras implica o aparecimento de dois capacitores em série, cada um de capacitância igual a 2C. O motivo de a capacitância de cada um desses dois capacitores ser o dobro da capacitância do capacitor original (C, valor dado no exercício) é o fato de a distância entre as armaduras dos dois novos capacitores ser a metade da distância do capacitor original. A capacitância equivalente de dois capacitores em série é o produto dividido pela soma de suas capacitâncias. Assim, a capacitância final é:

$$C_{eq} = 2C.2C/(2C + 2C) = C$$

Se a placa tiver uma espessura não desprezível, a capacitância de cada um dos dois novos capacitores será ainda maior do que 2C, pois a distância entre as placas será menor do que a metade da separação inicial d. Por isso, a capacitância equivalente será maior do que aquela em que a espessura da placa é desprezível. Por exemplo, se a espessura das placas for d/3, então a separação entre as placas de cada um dos dois novos capacitores será d/3, e as suas capacitâncias serão 3C. A capacitância equivalente será $C_{eq} = 3C.3C/(3C + 3C) = 1,5$ C. Note que esse valor é maior em 50% do que o valor obtido anteriormente. Quanto maior a espessura da placa, maior o efeito do aumento da espessura sobre a capacitância final.

Questão 12 – Letra D

Comentário: Um conjunto de n capacitores de capacitâncias iguais a C ligados em paralelo equivale a um capacitor de capacitância igual a nC. Ligados em série, a capacitância equivalente é C/n. Assim, para usar o mínimo de capacitores de capacitância C = 1,0 μF, de forma a obter uma capacitância equivalente C_{eq} = 2,5 μF, o técnico deve usar a montagem a seguir. Os dois capacitores em série fornecem a capacitância C/2 = 0,5 μF. Essa capacitância, somada às outras duas capacitâncias de 1,0 μF dos dois capacitores em paralelo, resulta no efeito final desejado. Portanto, o número mínimo de capacitores é 4.

Questão 13

Comentário:

A) A energia liberada é:

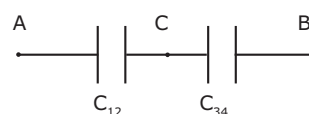
$E = CV^2/2 = 50 \times 10^{-6}.(5,0 \times 10^3)^2/2 \Rightarrow$

$E = 6,25 \times 10^2$ J $= 6,3 \times 10^2$ J

B) De acordo com a informação fornecida pelo exercício, o produto $RC = 3,0 \times 10^{-3}$ s. Substituindo nessa expressão o valor de C (50×10^{-6} F), obtemos R = 60 Ω.

Questão 14

Comentário: Primeiramente, vamos calcular a capacitância equivalente do trecho CB (capacitores em paralelo). Essa capacitância é a soma das capacitâncias dos capacitores 3 e 4, C_{34} = 12 μF. O circuito equivalente é mostrado a seguir.

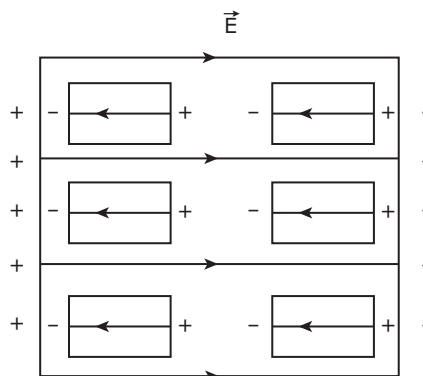
Agora, vamos determinar a capacitância equivalente do trecho AC (capacitores em série). Essa capacitância é o produto das capacitâncias dos capacitores 1 e 2 dividida pela soma das capacitâncias destes, C_{12} = (2,0/3,0) μF. O circuito equivalente é mostrado na figura seguinte:

Estando os capacitores C_{12} e C_{34} ligados em série, temos que suas cargas são iguais. Essas cargas são dadas pelos produtos das respectivas d.d.p. pelas respectivas capacitâncias. Assim:

$$Q = (2,0/3,0)V_{AC} = 12V_{CB} \Rightarrow V_{AC}/V_{CB} = 18$$

Questão 15

Comentário:

1) O valor da capacitância desse capacitor não será alterada, pois apesar de poder ser determinada como a razão entre a carga armazenada (Q) e a diferença de potencial (V), o valor da capacitância independe desses parâmetros, dependendo apenas (no caso de um capacitor plano) da área de cada placa (A), da distância entre elas (d) e da permissividade do dielétrico (ε) usado entre placas, $C = \frac{\varepsilon.A}{d}$.

2) Ao se introduzir uma dielétrico entre as placas, o campo elétrico gerado por elas polariza esse dielétrico. Essa polarização cria no interior do dielétrico um campo elétrico no sentido oposto ao daquele gerado pelas placas. Sendo assim, o campo elétrico resultante entre as placas do capacitor diminui de valor.

Seção Enem

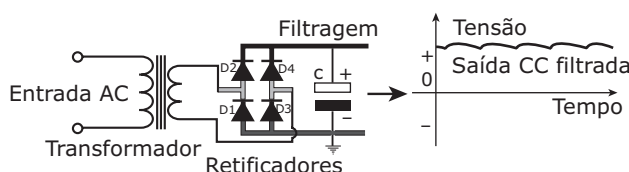
Questão 01 – Letra E

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 2

Habilidade: 5

Comentário: Um capacitor é um dispositivo constituído de duas armaduras que armazenam uma carga elétrica e, consequentemente, certa quantidade de energia elétrica. Essa energia, ou parte dela, é liberada quando as armaduras são postas em contato ou mesmo quando apenas uma das armaduras é ligada a um condutor. No caso das telas do tipo *touchscreen* (tela sensível ao toque) do 2º tipo descrito nessa questão, a tela é uma espécie de capacitor, em que as armaduras são as duas camadas separadas pelos espaçadores. Entre as muitas aplicações dos capacitores, podemos citar as seguintes:

- Armazenadores de energia nos *flash* de máquinas fotográficas. Quando acionamos o botão para tirar a foto com o *flash*, além de comandarmos a abertura de entrada de luz através do diafragma da máquina, também comandamos a interligação das armaduras do capacitor. Uma corrente elétrica elevada e súbita atravessa um dispositivo que produz o brilho do *flash*.
- Armazenadores de energia em um marca-passo cardíaco. Veja a resolução da questão 3 a seguir.
- *Dial* de mudança de estação em um aparelho de rádio. Quando acionamos o *dial*, mudamos a capacitância de um capacitor. Isso faz com que o sinal de rádio da emissora desejada seja "capturado" pelo aparelho de rádio. Veja a resolução da questão anterior.
- Nos circuitos de retificação de correntes alternadas. Esses circuitos são constituídos de três partes básicas (transformação, retificação e filtragem), conforme mostra a figura a seguir.

No transformador, a corrente alternada de entrada (CA) é transformada em corrente alternada de saída, que pode ser maior, igual ou menor que a corrente de entrada. No retificador, que é uma associação de diodos (dispositivos eletrônicos que deixam a corrente passar apenas em um sentido), a corrente pulsante alternada de saída do transformador é convertida em uma corrente pulsante contínua (CC). No filtro, que é o capacitor C, a corrente pulsante contínua é transformada em corrente contínua não pulsante. O capacitor acumula cargas elétricas e as fornece ao circuito de saída na quantidade, na direção e no momento certo, de maneira que a pulsação da corrente de saída é eliminada (na verdade, reduzida ao máximo).

Questão 02 – Letra A

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 1

Habilidade: 2

Comentário: Os capacitores são planos, pois há uma série de duplas de placas planas circulares. A capacitância de cada dupla é variável porque a área projetada de uma placa móvel, sobre uma placa fixa, muda à medida que o eixo do dial é girado. Na posição em que as placas estão uma de frente para a outra, a área projetada é máxima e vale a metade da área de um círculo (capacitância máxima). Já na posição mostrada na figura, a área projetada é 1/4 da área de um círculo (capacitância mínima). Os capacitores (pares de placas) estão ligados em paralelo, porque a d.d.p. em cada capacitor é constante e igual a $V_A - V_B$.

Questão 03 – Letra A

Eixo cognitivo: II

Competência de área: 6

Habilidade: 21

Comentário: A figura desse exercício mostra a chave seletora S na posição 1. Observe que as armaduras do capacitor estão conectadas na pilha P. Por isso, com a chave S na posição 1, o capacitor C é carregado. Quando a chave passa para a posição 2, a voltagem existente entre as armaduras do capacitor impõem uma corrente elétrica no circuito no lado direito da figura. Esse circuito é constituído pelo capacitor, pelos fios de ligação e pelo coração do paciente. A corrente que passa pelo coração o faz bater de forma mais rítmica. A corrente média que atravessa o coração é de baixa intensidade, sendo limitada pela resistência elétrica do coração. Essa corrente é máxima quando o capacitor inicia o processo de descarga e torna-se zero depois que o capacitor se descarrega completamente. A chave fica oscilando entre uma posição e outra, de forma que ora o capacitor é carregado pela pilha, ora o capacitor é descarregado, enviando um estímulo elétrico para o coração.

MÓDULO – D 12

Campo magnético

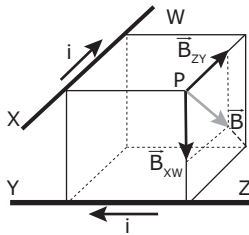
Exercícios de Fixação

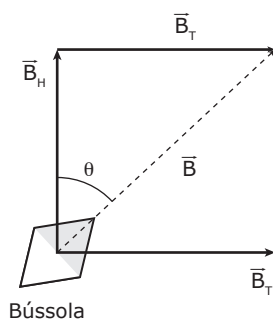
Questão 01 – Letra A

Comentário: A figura I mostra um campo elétrico de uma placa extensa e carregada positivamente. A figura II mostra duas cargas elétricas pontuais e o campo elétrico dessa configuração. Já as figuras III e IV mostram campos magnéticos criados por uma espira circular perpendicular ao plano da folha e de um fio retilíneo perpendicular ao papel (não indicados nas figura) e percorridos por correntes elétricas.

Questão 02 – Letra C

Comentário: O exercício aborda o fato de que o campo magnético criado por uma corrente elétrica num fio é ortogonal a ela.

Veja a figura a seguir. O campo magnético no vértice P tem duas componentes, conforme mostrado. As componentes $\vec{B}_{zy}$ e $\vec{B}_{xw}$ são geradas pelas correntes que passam nos fios ZY e XW, respectivamente. Use a regra da mão direita. Coloque o dedão no sentido ZY e localize a componente $\vec{B}_{zy}$; em seguida, no sentido XW, e encontre a componente $\vec{B}_{xw}$.

Questão 03 – Letra E

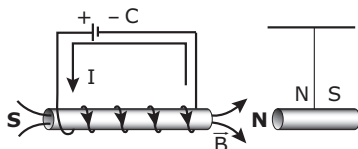
Comentário: A figura a seguir mostra o campo da terra ($\vec{B}_T$) deslocado para a extremidade de $\vec{B}_H$ e o campo resultante ($\vec{B}$) entre eles.

No triângulo superior é fácil perceber que:

$\text{tg}\ \theta = B_T / B_H \Rightarrow B_T = B_H.\text{tg}\ \theta$

se $\theta = 45^\circ \Rightarrow B_T = B_H$

Questão 04 – Letra A

Comentário: A questão trata de polos de um eletroímã e da possível atração entre este e um ímã colocado nas suas proximidades.

Veja a figura a seguir. Com a chave C fechada, a corrente elétrica circula conforme mostrado e produz um campo magnético (regra da mão direita). Assim, a extremidade direita do solenoide comporta-se como um polo norte. Logo, haverá repulsão entre o solenoide e o pêndulo (ímã).

Sendo assim, a alternativa A é a correta.

Questão 05 – Letra A

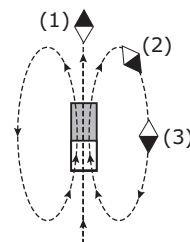
Comentário: Com a chave S ligada, a corrente flui pelo fio superior (que, estando mais perto da bússola, exerce maior influência) no sentido sul-norte e produz onde a bússola se encontra um campo magnético perpendicular à folha "saindo" dela (sentido oeste-leste). Assim, a bússola gira para o leste.

Exercícios Propostos

Questão 02 – Letra D

Comentário: Analise a posição da limalha de ferro nas duas figuras. Na primeira, as linhas de indução vão de um ímã para o outro. Logo, eles têm polos de nomes contrários entre os ímãs. Na figura II, as linhas de indução divergem para não se cruzarem. Assim, temos polos de mesmo nome entre os ímãs. Com base na argumentação anterior, conclui-se que a alternativa D é a correta.

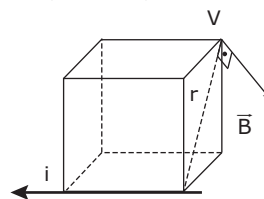
Questão 03 – Letra A

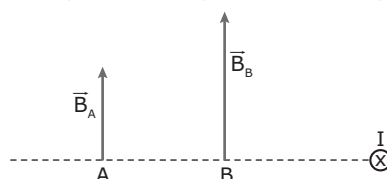
Comentário: O vetor indução magnética é tangente à linha de campo magnético. Dessa forma, para que a bússola no ponto 2 posicione-se conforme o enunciado, as linhas de indução do campo magnético do ímã devem estar de acordo com a figura a seguir. Assim, a bússola nos pontos 1 e 3 deve se orientar conforme mostrado na própria figura.

Esse resultado é mostrado na alternativa A.

Questão 04 – Letra C

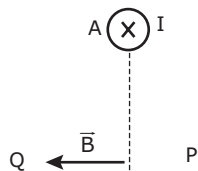
Comentário: Veja que, cortando o ímã na direção do plano π, os polos sul e norte da parte de cima ficam exatamente sobre os polos sul e norte, respectivamente, da parte de baixo. Dessa forma, as partes vão sofrer repulsão magnética. Nesse caso, para unir os ímãs é necessário girar a parte de cima, por exemplo, levando o seu polo sul para a direita de modo que ele fique colocado sobre o polo norte da parte de baixo.

Questão 06 – Letra D

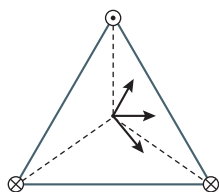
Comentário: O vetor campo magnético ($\vec{B}$) deve ser perpendicular à distância (r) entre o ponto (V), onde se quer determinar esse campo, e a corrente que lhe deu origem, conforme mostra a figura a seguir.

Questão 09 – Letra C

Comentário: Para que os campos magnéticos sejam conforme mostrado na questão, a corrente elétrica deve possuir a direção e o sentido indicados na figura a seguir (lembre-se de que o maior campo está mais perto da corrente).

Esses resultados estão corretamente expressos na alternativa C.

Questão 10 – Letra D

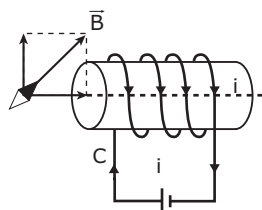
Comentário: Considere o fio AB visto de A para B, no sentido da corrente elétrica, conforme a figura a seguir. O campo criado por essa corrente, em um ponto sob o fio, é ortogonal à corrente no sentido dos dedos da mão direita. Assim, o polo norte da bússola (que aponta no sentido da indução magnética) estará direcionado para o ponto Q.

Portanto, a alternativa D está correta.

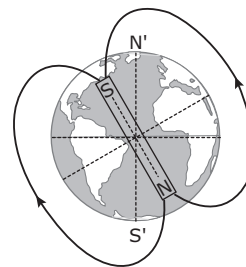
Questão 11 – Letra C

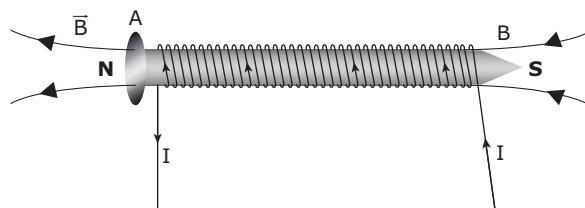
Comentário: Os campos magnéticos criados pelas correntes elétricas são perpendiculares à distância do ponto às correntes (use a regra da mão direita com o dedão no sentido de cada corrente). Veja a figura a seguir. Assim, o campo magnético resultante aponta na horizontal para a direita e, dessa forma, a bússola orienta-se conforme mostrado na alternativa C.

Questão 13 – Letra A

Comentário: A regra da mão direita, que determina o sentido do campo magnético criado por uma corrente, deve ser usada com os quatro dedos da mão no sentido da corrente convencional, e, assim, o dedão fornece o sentido do vetor campo magnético. A figura mostra o sentido de movimento de um elétron. Dessa forma, o sentido do campo magnético, no centro de movimento da carga, está em sentido contrário àquele obtido com a regra da mão direita, ou seja, perpendicular ao plano da página e entrando nela, conforme mostrado na alternativa A.

Questão 16 – Letra C

Comentário: O campo magnético da Terra aponta para cima, no local da bússola (sentido do polo norte). Com a chave ligada, uma corrente elétrica percorre o solenoide no sentido indicado na figura e cria um campo magnético apontado para a direita. Assim, o campo magnético resultante entre os dois anteriores está, também, mostrado na figura a seguir. Logo, a bússola orienta-se conforme a alternativa C.

Questão 18 – Letra C

Comentário: As linhas de indução do campo magnético terrestre têm a forma mostrada na figura a seguir. Veja que elas saem do norte magnético e entram pelo sul, assim como é mostrado na alternativa C.

Questão 21 – Letra D

Comentário: A polaridade da bateria faz com que a corrente elétrica circule pelo eletroímã, conforme mostra a figura a seguir. Usando-se a regra da mão direita com os dedos no sentido da corrente, o dedão indicará o sentido do campo magnético no interior do eletroímã. Assim, o campo magnético criado pela corrente aponta para a esquerda, e, dessa forma, a extremidade A é um polo norte. Como o sistema ficou imantado, um prego aproximado de qualquer das extremidades será atraído pelo dispositivo. Aumentando-se a corrente, o campo magnético do eletroímã será aumentado na mesma proporção ($B \propto I$).

Seção Enem

Questão 01 – Letra E

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 5

Habilidade: 18

Comentário: O campo magnético externo é capaz de "guiar" os nanoímãs de modo que a droga ministrada possa atingir apenas células específicas. Isso garante um novo e vantajoso método de terapia, que pode diminuir os efeitos colaterais da medicação em regiões não afetadas pela doença do paciente.

Questão 02 – Letra C

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 6

Habilidade: 21

Comentário: O sentido de movimento da Lua e o sentido das correntes elétricas nos cabos de transmissão de energia nada têm a ver com o campo magnético terrestre; portanto, esses não sofrerão alterações devido à inversão magnética. As bússolas não determinam os polos geográficos e, sim, os polos magnéticos. Dessa forma, o funcionamento desses dispositivos será alterado com a inversão magnética. Os animais que usam o campo magnético para se guiar terão suas rotas migratórias invertidas e irão para o sentido oposto ao que deveriam. O campo magnético da Terra, na configuração atual, possui uma componente no Hemisfério Sul que aponta para o norte e outra que aponta verticalmente para cima. Havendo reversão magnética, os sentidos dessas componentes serão invertidos. Portanto, da discussão anterior, conclui-se que a alternativa correta é a C.